

Stephan Mairhofer

Studie zum Einsatz von Prozessleitsystemen  
in der Chemischen Industrie (Pharma)

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau / Mechatronik

Mittweida, 2011

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Römer

Hochschule Mittweida

Zweitprüfer: Dipl. Ing. Albert Hohenwarter

SandozGmbH

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

## Bibliographische Beschreibung:

Mairhofer, Stephan

Studie zum Einsatz von Prozessleitsystemen in der Chemischen Industrie mit dem zusätzlichen Schwerpunkt auf die Pharmabranche - 2011.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, - 2011

## Referat:

Die folgende Diplomarbeit dient zum generellen Verständnis von Prozessleitsystemen und deren Einsatz im weitreichenden Bereich der Chemischen Industrie daher gibt es einen Schwerpunkt auf die Pharmabranche.

Die Hauptteile der Arbeit bestehen aus:

- Die Komponenten des Prozessleitsystems
- Anforderungen an das Prozessleitsystem
- Die Standards welche im Bezug auf Hardware und Software bestehen
- Datenaufkommen und Archivierung
- Trendsysteme und Traceability
- Rezepturverwaltung, Batchbetrieb
- Regulatorische Anforderungen
- Vorteilhaft eingesetzte Systeme

Beim bearbeiten des Punktes für die Vorteilhaft eingesetzten Systeme werde ich vorwiegend auf Systeme die bei meinem derzeitigen Arbeitgeber der SandozGmbH eingesetzt werden eingehen. Eine Beschreibung der SandozGmbH werde ich bewusst weglassen, da dies für das Thema der Diplomarbeit eigentlich keine wirkliche Bedeutung hat.

Aus dem recht weitreichenden Themengebiet und der zum Teil sehr umfassenden Teilbereiche ist es schwer möglich auf alle Punkte ganz genau einzugehen, daher wird bei manchen Punkten nur eine erklärende Übersicht dargestellt.

Um auf die oben angeführten Punkte genauer eingehen zu können müssen aber vorab einige grundlegende Punkte und Eigenschaften eines Prozessleitsystems dargestellt werden. Das bedeutet auch, dass die Definition und der grundsätzliche Aufbau eines Prozessleitsystems ebenfalls betrachtet werden. Neben einer Vielzahl von Normen und Vorschriften die für ein Prozessleitsystem und dessen Einsatz bestehen gibt es auch Bestrebungen für die Vereinheitlichung und Informationszusammenführungen. Die bekannteste Vereinigung dieser Bestrebungen ist die NAMUR. Die NAMUR und ihre Ziele werden von mir auch zu Beginn beschrieben.

## Inhaltsverzeichnis

1	Die Namur.....	11
2	Definition Prozessleitsystem.....	11
2.1	Begriff Prozess .....	11
2.2	Begriff Leiten .....	11
2.3	Begriff System.....	12
2.4	Begriff Prozessleitsystem .....	12
2.4.1	Datenbasis .....	12
2.4.2	Zeitdeterministisch .....	12
3	Prozessleitsystem – Modelle.....	14
3.1	Prozessleitsysteme ohne Controller (nicht genauer betrachtet).....	14
3.2	Prozessleitsysteme mit Controller .....	14
3.3	Einplatzsysteme.....	14
3.4	Mehrplatzsysteme .....	14
3.5	Bussysteme.....	15
3.6	Remote I/Os .....	15
3.7	Ebenenmodell.....	16
4	Bedien- und Beobachtungs- Komponenten.....	16
4.1	Aufbau.....	16
4.1.1	Peer to Peer .....	16
4.1.2	Client/Server- Struktur .....	17
4.2	Darstellung (Fließbilder) .....	17
4.3	Overlays (Faceplates).....	18
4.4	Trends.....	19
4.5	Events (Meldungen, Alarmer, Bedieneingriffe).....	19
5	Prozessnahe Komponenten (PNK).....	20
5.1	Signalverarbeitung (Aufnahme, Wandlung, Ausgabe) .....	21
5.2	Verschiedene Funktionen (Steuerung, Regelung) .....	24
5.3	Bus- und Kommunikationssysteme .....	26
5.3.1	Profibus .....	27
5.3.2	DeviceNet.....	30

5.3.3	ControlNet.....	32
5.3.4	Bussysteme im Vergleich .....	35
5.3.5	Industrial Ethernet.....	36
5.3.6	OPC.....	39
6	Programmiersprachen .....	40
6.1	EN 61131-3 .....	40
6.2	Continuous Function Chart .....	41
6.3	Erweiterte Beschreibungen - Kurzbeispiele .....	41
7	Rezepturen .....	45
7.1	ANSI/ISA-88.....	45
7.2	Rezepterstellung und Darstellung .....	47
8	Auswahl eines Prozessleitsystems .....	48
8.1	Umgebungsbedingungen .....	48
8.1.1	EG-Richtlinie 99/92/EG (ATEX 137) .....	48
8.1.2	Eigensicherheit "i" .....	50
8.2	Sicherheitsgerichtete Funktionen .....	53
8.3	Anzahl I/Os .....	53
8.4	Auswahl geeigneter Controller.....	54
8.5	Auswahl Feldbussysteme .....	54
8.6	Feldgeräteeinbindung .....	55
8.7	Auswahl der I/O Komponenten.....	56
8.8	Redundanzen .....	56
8.9	Programmiersprachen (Typicals).....	57
8.10	Rezeptverwaltung (Batch-System).....	57
8.11	Datenarchivierung .....	58
9	Regulatorische Anforderungen .....	58
9.1	Validierung/Qualifizierung.....	58
9.2	21CFR Part11 .....	62
9.3	Backup/Restore von Prozessleitsystemdaten .....	63
9.4	Zutrittskontrolle bei Prozessleitsystemen.....	64
9.5	LifeCycle Dokumentation .....	65

10	Eingesetzte Prozessleitsysteme .....	65
10.1	Mischsystem (Siemens/Rockwell Automation) .....	65
10.2	Rockwell Automation (RSView) .....	66
10.3	Siemens (PCS7) .....	67
10.4	Emerson (DeltaV) .....	68
10.5	Foxboro (I/A Systeme) .....	74
11	Externe Systeme.....	75
11.1	Domain Controller .....	75
11.2	Uhrzeitsynchronisation.....	75
11.3	PI System (OSIsoft) .....	75
11.4	Logmate .....	77

## Abkürzungsverzeichnis

µs	Mikrosekunde
ANSI	American National Standards Institute
AS	Ablaufsprache
AWL	Anweisungsliste
B&R	Bernecker + Rainer Industrie Elektronik Ges.m.b.H.
BNC	Bayonet Nut Connector (Steckertyp)
BUB	Bedien- und Beobachtungsstationen
CAE	Computer Aided Engineering
CAN	Controller Area Netzwerk
CFC	Continuous Function Chart
CID	Connection Identifier
CIP	Common Industrial Protocol
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTDMA	Concurrent Time Domain Multiple Access
DA	Destination Address
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DP	Decentralized Peripherals
DQ	Design Qualification
DSAP	Destination Service Access Point
ED	End Delimiter
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
EPSC	Ethernet POWERLINK Standardization Group
EPSC	Ethernet POWERLINK Standardization Group
ETG	Elektrotechnikgesetz
EVA	Eingabe - Verarbeitung, per DVA Datenverarbeitungsanlage - Ausgabe
FBD	Function Block Diagram
FBS	Funktionsbaustein-Sprache
FC	Function Code
FCS	Frame Check Sequence
FDL	Fieldbus Data Link
FF	Foundation Fieldbus
FMS	Fieldbus Message Specification
FS	Functional Spezifikation
HDS	Hardware Design Spezifikation
HSE	High-Speed-Ethernet
HW	Hardware
I/O	Input / Output (Ein / Ausgang)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IL	Instruction List
IQ	Installation Qualification
ISA	Industry Standard Architecture
KOP	Kontaktplan
LAN	Local Area Network
LD	Ladder Diagram
LE	Länge der Nettodaten
LEr	Wiederholung der Nettodaten Länge
LWL	Lichtwellenleiter
mA	Milliampere (Stromstärke)
ms	Millisekunden
mbar	Millibar
MSR	Mess- Steuer- Regeltechnik

NAP	Network Access Port
NUT	Network Update Time
ODVA	Open DeviceNet Vendor Association
OPC	OLE for Process Control
OQ	Operational Qualification
PA	Prozess-Automation
PC	Personal Computer
PDU	Protocol Data Unit
PNK	Prozessnahe Komponenten
PNO	PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.
PQ	Performance Qualification
RIO	Remote I/O
SA	Source Address
SD	Startdelimiter
SDLC	System Development Life Cycle
SDS	Software Design Spezifikation
SFC	Sequential Function Chart
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SSAP	Source Service Access Point
ST	Structured Text
ST	Strukturierter Text
UCMM	Unconnected Message Manager
V DC	Volt Gleichspannung
VV	Validierungsvorschrift

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bus- Topologie.....	13
Abbildung 2: Stern- Topologie .....	13
Abbildung 3: Ring- Topologie .....	13
Abbildung 4: Ebenenmodell .....	16
Abbildung 5: Peer to Peer.....	16
Abbildung 6: Client /Server Struktur .....	17
Abbildung 7: Backplane/Rack .....	20
Abbildung 8: Beispiel Rack von Rockwell Automation.....	20
Abbildung 9: EVA- Prinzip.....	21
Abbildung 10: Signalverarbeitung.....	22
Abbildung 11: Analoge Druckmessung 4-20mA .....	23
Abbildung 12: Unstetige Füllstandsregelung.....	24
Abbildung 13: Regelstrecke mit Störgröße.....	24
Abbildung 14: PID-Regler Parallelersatzschaltbild.....	25
Abbildung 15: OSI- Modell Profibus .....	27
Abbildung 16: ProfibusDP- Sicherungsschicht .....	28
Abbildung 17: DeviceNet- Data Link Layer Aufbau.....	30
Abbildung 18: DeviceNet- Bitstruktur.....	31
Abbildung 19: OSI-Modell.....	33
Abbildung 20: Beispiel Funktionsbaustein.....	41
Abbildung 21: CFC- Funktionen und Qualifier .....	42
Abbildung 22: CFC- Funktionen und Qualifier .....	43
Abbildung 23: CFC-Plan nach CoDeSys.....	44
Abbildung 24: CFC Plan nach Siemens.....	44
Abbildung 25: ANSI/ISA-88 Modell.....	46
Abbildung 26: Elektrische Zusammenhänge für EXi-Trennung .....	52
Abbildung 27: Sicherheitsgerichtete Siemens, Emerson, Rockwell Automation Komponenten.....	53
Abbildung 28: V- Modell.....	59
Abbildung 29: SDLC- Modell .....	59
Abbildung 30: DeltaV Explorer.....	69
Abbildung 31: Funktionsblockbausteine und Typicals .....	69
Abbildung 32: Typical eines PID- Regelventils.....	70
Abbildung 33: Phase Logic Module (PLM) .....	70
Abbildung 34: SFC- Ablauf.....	71
Abbildung 35: SFC Schrittbedingung und Qualifier .....	71



Abbildung 36: I/O Zuweisung .....	72
Abbildung 37: Grundoperation Batch-System.....	73
Abbildung 38: PI Systemübersicht und Datenfluss .....	75
Abbildung 39: Logmate Systemübersicht.....	77

Alle Abbildungen sind ohne Quelle angegeben, diese sind sofern nicht durch das Literaturverzeichnis erfasst alle in Eigenregie erstellt worden. Die Ausnahme bilden die 3 Bilder der Sicherheitsgerichtete Siemens, Emerson, Rockwell Automation Komponenten und das Bild der diese sind meiner eigenen interner Dokumentation.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ControlNet Leistungsdaten .....	33
Tabelle 2: Feldbusdaten im Vergleich .....	35
<a href="http://www.feldbusse.de/Vergleich/vergleich.shtml">http://www.feldbusse.de/Vergleich/vergleich.shtml</a>	
Abgerufen am: 12.12.2010	
Tabelle 3: Programmiersprachen nach EN 61131-3 .....	40
Tabelle 4: Backuparten und dazugehörige Daten.....	63

## 1 Die Namur

Die NAMUR<sup>1</sup> ist ein internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie, gegründet 1949. Der ursprüngliche volle Name „Normenarbeitsgemeinschaft für Meß- und Regeltechnik in der Chemischen Industrie“ wird heute nicht mehr verwendet, stattdessen führt der Verband den Beinamen „Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie“. Die NAMUR unterstützt den Erfahrungsaustausch der Mitglieder untereinander sowie mit anderen Vereinigungen und Verbänden. Die Arbeitsergebnisse werden in Form von NAMUR-Empfehlungen und –Arbeitsblättern publiziert sowie ggf. bei den nationalen und internationalen Normungsgremien als Normungsvorschlag eingebracht.

Die Empfehlungen werden als NE...-Dokumente abgekürzt, die Arbeitsblätter wiederum als NA...-Dokumente

Es ist Ziel der NAMUR- Arbeit durch

- Interpretation von Richtlinien, Vorschriften und Verordnungen,
- Erläuterung von Vorgehensweisen,
- Checklisten als Arbeitshilfsmittel,
- Festlegung von Mindestanforderungen an Geräte und Systeme,
- Aufzeigen von Bedarf bei Geräte- und Systementwicklungen,
- Arbeitsteilung bei der Gerätebeurteilung,
- Abstimmung bei der Besetzung von Normungsgremien
- die Kosten von und durch Automatisierungstechnik in den Mitgliedsunternehmen zu minimieren sowie die Sicherheit und Verfügbarkeit durch Automatisierungstechnik zu erhöhen.

Zu beachten ist, dass es sich hierbei um keine verpflichtenden Forderungen handelt.

## 2 Definition Prozessleitsystem

### 2.1 Begriff Prozess

Der Begriff „Prozess“<sup>2</sup> in diesem Sinn ist eine Abfolge von Vorgängen, Tätigkeiten und Entwicklungen um von der Eingangsseite zur Ausgangsseite zu gelangen.

Nach DIN 19226 Teil 1 wird ein Prozess definiert als „Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder auch Information umgeformt, transportiert oder auch gespeichert wird.“

### 2.2 Begriff Leiten

Der Begriff „Leiten“ bedeutet verschiedene Maßnahmen zu realisieren um das angestrebte Ziel zu erreichen.

---

<sup>1</sup> [URL] <http://de.wikipedia.org/wiki/NAMUR>

<sup>2</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Prozess\\_\(Technik\)#cite\\_note-1](http://de.wikipedia.org/wiki/Prozess_(Technik)#cite_note-1)

## 2.3 Begriff System

Der Begriff „System“ ist eine abgegrenzte Einheit verschiedener Komponenten welche sich durch Beziehungen untereinander beeinflussen.

## 2.4 Begriff Prozessleitsystem

Daraus folgt ein Prozessleitsystem ist eine abgegrenzte Einheit aus verschiedenen Komponenten, welches durch eine Abfolge von Vorgängen und definierten Maßnahmen ein angestrebtes Ziel erreicht.

Ein Prozessleitsystem kurz PLS dient in der Technik zum Führen einer Anlage. Es besteht typischerweise aus so genannten prozessnahen Komponenten (PNK) und Bedien- und Beobachtungsstationen (BUB).

Das PLS arbeitet mit einer Datenbasis und arbeitet zeitdeterministisch.

### 2.4.1 Datenbasis

Eine Datenbasis ist erforderlich um die Informationen für die beteiligten Systeme, wie PNK und BUB, sowohl bereitzustellen als auch dort abzulegen. Somit ist jede Komponente (z.B. ein Ventil) nur einmal anzulegen. In dieser Datenbasis ist aber somit die gesamte Information aller Prozesskomponenten vorhanden.

### 2.4.2 Zeitdeterministisch

Hierzu wird das Anwenderprogramm in verschiedene Tasks unterteilt. Ein Task zu Deutsch Aufgabe ist eine Art Unterprogramm oder Teilprogramm. Jeder Task hat eine eigene fix vorgegebene Bearbeitungszeit in dieser der Task sein Anwenderprogramm ausgeführt haben muss, ansonsten wird der Task abgebrochen und der nächste Task beginnt.

Das hat den Vorteil, dass sich ein langsam ändernder Prozess (z.B. eine Temperierung) mit größeren Taskzykluszeiten hinterlegt werden kann und somit den Prozessor/Controller nicht unnötig beansprucht. Das bedeutet aber auch, dass in dem Fall die Temperaturmessung auch nur in der gewählten Zykluszeit abgearbeitet wird.

Daher ist man angehalten immer zu überlegen ob die Bearbeitungszeit für die jeweilige Aufgabe ausreichend gewählt ist.

Prozessleitsysteme werden meist für größere Anlagen eingesetzt und müssen diverse Eigenschaften erfüllen.

Diese sind:

- Aufnahme der Sensoren
- Steuerung von Aktoren
- Anlagenvisualisierung
- Meldungs- Alarmsystem
- Trendsystem von Messwerten
- Benutzerverwaltung

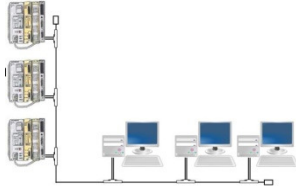
Weitere Eigenschaften welche oft anzutreffen sind:

- Rezeptverwaltung – Batch-System
- Diagnosesystem
- Schnittstellen zu externen Systemen
- Datensicherung (engl. Backup)

Die Aufgabe der prozessnahen Komponenten besteht in der Aufnahme der Sensoren und die Steuerung der Aktoren. Die Bedien- und Beobachtungsstationen dienen der Anlagenvisualisierung und befinden sich meist an einem zentralen Platz (z.B. Schaltwarte).

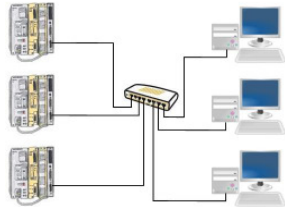
Die Verbindung zwischen prozessnahen Komponenten und Bedien- und Beobachtungsstationen ist über ein Bussystem realisiert. Hier werden 3 prinzipielle Topologien unterschieden.

- Strang- Linien- Bus- Topologie



*Abbildung 1: Bus- Topologie*

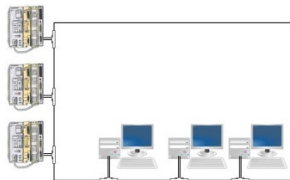
- Stern- Topologie



*Abbildung 2: Stern- Topologie*

Ähnlich der Sterntopologie ist die Baumtopologie welche aus mehreren Sterntopologien angeordnet ist die sich auf verschiedenen Ebenen(hierarchisch) befinden. Die Verbindungen untereinander besteht nur durch die Verteilgeräte(Switch,Hub,Repeater,...).

- Ring- Topologie



*Abbildung 3: Ring- Topologie*

Diese können jedoch auch als Mischformen zur Anwendung kommen. Dann wird üblicherweise von vermaschten Systemen gesprochen.

### 3 Prozessleitsystem – Modelle

Es können im Aufbau eines Prozessleitsystems diverse Modelle unterschieden werden.

#### 3.1 Prozessleitsysteme ohne Controller (nicht genauer betrachtet)

Prinzipiell ist ein Modell auch ohne Controller realisierbar. Nachdem diese Variante in der Chemischen Industrie (Pharma) keine bedeutende Anwendung findet, wird diese Variante nicht näher verfolgt.

#### 3.2 Prozessleitsysteme mit Controller

Generell werden fast alle Prozessleitsysteme mit einem oder mehreren Controller ausgestattet. Der Controller übernimmt die maßgeblichen Aufgaben in einem Prozessleitsystem nämlich die Abarbeitung des Anwenderprogramms.

- Regelungen
- Verwalten der Messwert- Signale
- Verwalten der Stell- Signale
- Überwachungsfunktionen

Die Anzahl der Controller wird durch die Größe des Prozessleitsystems bestimmt. Somit kann anhand der Anzahl der I/O Signale die Anzahl der benötigten Controller bestimmt werden.

#### 3.3 Einplatzsysteme

Im einfachsten Fall besteht ein Prozessleitsystem nur aus einem Bedien- und Beobachtungs- Station (BUB) und den dazugehörigen prozessnahen Komponenten. Diese Systeme sind im Allgemeinen aber nur für kleine Anwendungen gedacht, welche auch keiner großen Änderungen im laufenden Betrieb bedürfen. In diesem Fall macht es Sinn den BUB-Platz gleichzeitig als Engineeringstation (Programmierstation) zu nutzen um Kosten zu sparen.

#### 3.4 Mehrplatzsysteme

Der Großteil an Prozessleitsystemen wird jedoch als Mehrplatzsysteme aufgebaut.

Bei dieser Anwendung wird die Anlage von verschiedenen Arbeitsplätzen bedient. Dies ist nicht nur für die Bediener komfortabler, sondern die Anlage ist auch im Allgemeinen leistungsfähiger. Die einzelnen BUB- Plätze können sowohl in der Anlage verteilt als auch an einem zentralen Ort, der so genannten Leitzentrale oder Schaltwarte lokalisiert sein. Das Engineering im laufenden Betrieb erfolgt über einen separaten Arbeitsplatz um die Bedienung der Anlage nicht zu hindern.

### 3.5 Bussysteme

Bussysteme auch oft als Feldbussysteme bezeichnet kommen ebenfalls in den verschiedensten Formen zum Einsatz. Diese wurden entwickelt um einerseits Kosten in der Verkabelung zu sparen und andererseits mehrere Informationen über eine „Signalleitung“ zu erhalten. Die meist angetroffenen Feldbussysteme sind ProfibusDP, ProfibusPA, DeviceNet, ControlNet, FOUNDATION Fieldbus, ModBus, Interbus.

Der Nachteil der meisten Bussysteme besteht im zusätzlichen Aufwand für Programmierung und Parametrierung. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass Feldbussysteme meist als Stränge aufgebaut sind. Bei Erweiterungen oder Störungen sind daher der gesamte Strang und somit alle Geräte darauf betroffen. Weiters sind die einzelnen Systeme in Länge, Datenaufkommen und Geschwindigkeit beschränkt. Inzwischen geht die Entwicklung immer mehr in Richtung Ethernet. Dieser „Bus“ hat aufgrund seiner Verbreitung im IT- Bereich und aufgrund seiner Eigenschaften viele Vorteile gegenüber den oben genannten Systemen.

### 3.6 Remote I/Os

Der Grundgedanke bei Remote I/Os ist den Verkabelungsaufwand möglichst zu reduzieren und zugleich einige Probleme von Feldbussystemen zu umgehen. Bei Remote I/Os handelt es sich um prozessnahe Komponenten welche vom Controller räumlich getrennt sind. Diese sind in mehreren Schränken im Feld untergebracht und werden meist kurzerhand als RIO bezeichnet. Die Verbindung zwischen Controller und den Remote I/Os ist wiederum mittels eines Bussystems realisiert. Die Verkabelung der Feldgeräte erfolgt dagegen auf konventionelle Art und Weise.

Dieser Aufbau hat den Vorteil, dass Erweiterungen flexibler durchführbar sind und zugleich der Kabelweg zwischen den RIO Schränken und den Feldgeräten kurz gehalten werden kann. In RIO Schränken der Chemischen Industrie sind auch meist neben den dort platzierten I/O Komponenten Ventilinseln für die pneumatischen Steuerungsaufgaben untergebracht. Als Ventilinsel wird ein Zusammenschluss mehrerer Ventile zu einer Einheit. Das hat den Vorteil, dass diese zentral platziert und pneumatischen versorgt werden können, weiters können diese meist auch über ein Bussystem gesteuert werden.

Diese im Vorfeld genannten Modelle kommen natürlich meist als Kombinationen der einzelnen Modelle zur Anwendung. Zum Beispiel werden die meisten Systeme als Prozessleitsystem mit mehreren Controllern als Mehrplatzsysteme mit Bustechnik in der Feldebene und Remote I/Os aufgebaut. Daraus resultiert eine Vielzahl an so genannten Hardware- Komponenten welche schließlich das finale Prozessleitsystem bilden.

Für eine bessere Übersicht ist hier das Ebenenmodell der Prozessleittechnik gut geeignet. Dieses zeigt nicht nur die einsetzbaren Komponenten auf sondern gibt auch einen guten Überblick wo sich diese schlussendlich in der Anwendung, sprich in der Anlage befinden.

### 3.7 Ebenenmodell

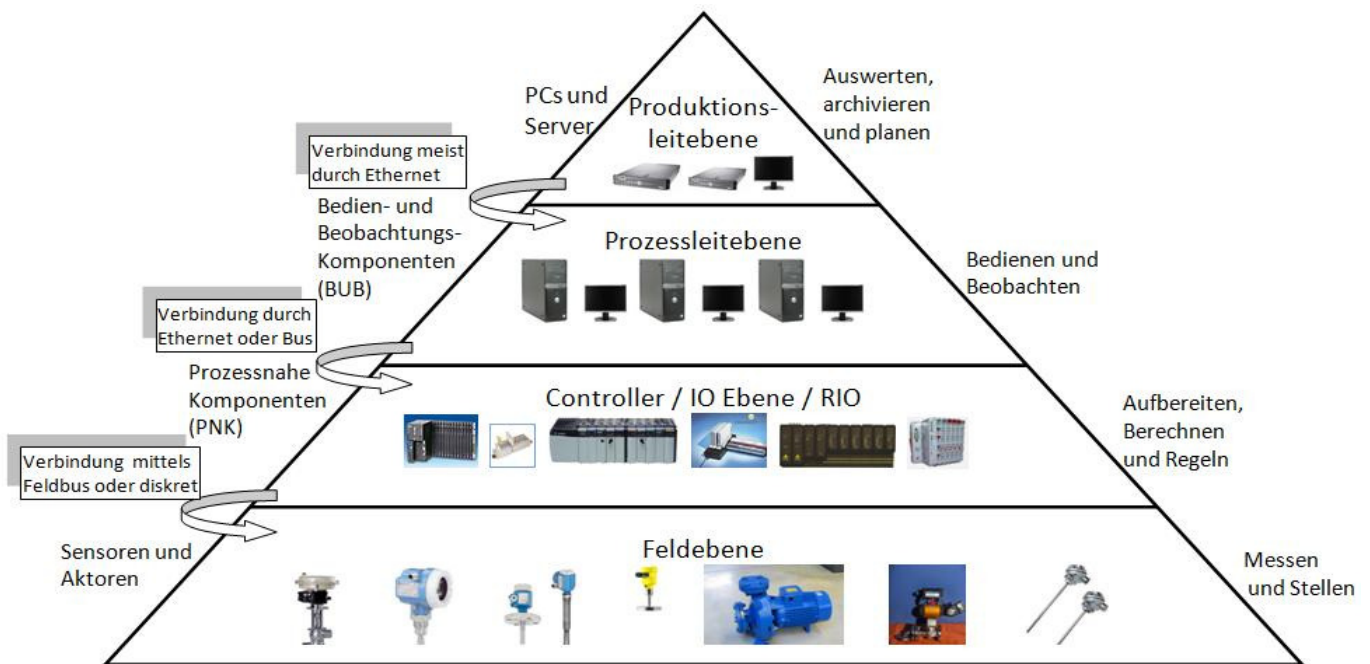


Abbildung 4: Ebenenmodell

## 4 Bedien- und Beobachtungs- Komponenten

### 4.1 Aufbau

Meist sind die Aufbauten der Bedien- und Beobachtungs- Komponenten vom Hersteller/Lieferanten des Prozessleitsystems vorgegeben. Es kommen prinzipiell 2 grundlegende Modelle zur Anwendung.

#### 4.1.1 Peer to Peer

Peer to Peer Netzwerke sind Netzwerksysteme ohne zentrale Zugriffskontrolle, in denen alle Rechner gleichberechtigt agieren. Eine Datenverbindung besteht dabei immer direkt von einem Teilnehmer zum anderen, ohne Zwischenschaltung eines Servers.

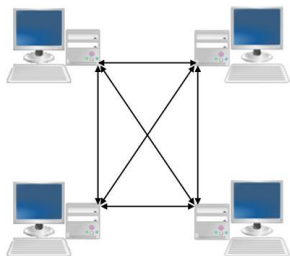


Abbildung 5: Peer to Peer



#### 4.1.2 Client/Server- Struktur.

Die Client-Server Struktur besteht aus dem zentralen Datenbankserver als Server-Komponente und mehreren Benutzer-Clients als Client-Komponente. Den Client greift als Nutzer über das Netzwerk auf Ressourcen des Datenbankservers zu. Er liest und pflegt die Daten in der Datenbank durch senden von z.B. SQL-Befehlen als Anforderung zum Server. Der Server liefert darauf die angeforderten Daten an den Client zurück.

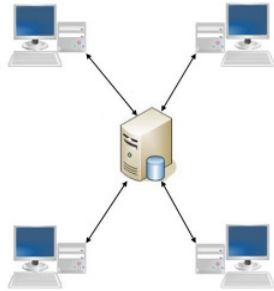


Abbildung 6: Client /Server Struktur

#### 4.2 Darstellung (Fließbilder)

Als Übersicht und für die bessere Orientierung ist es hilfreich ein prinzipielles Anlagenschema oder Blockdiagramm darzustellen.

Die Darstellung der Anlage erfolgt anhand von Fließbildern, welche in Teilanlagen oder Anlagenteilen dargestellt werden.

Hierbei orientiert man sich normalerweise an den Rohrleitungs- und Instrumentenfließbildern (R+I Schema).

Bei der Darstellung versucht man einen relativ einfache Struktur aufzubauen, daher spielen 3-dimensionale Darstellungen fast keine Rolle, ebenfalls werden nur die notwendigen Dinge animiert. Übersichtlichkeit ist hier bei weiten wichtiger als komplexe Animationen und Darstellungen.

Die Darstellung der EMSR Stellen in den R+I Schemen<sup>3</sup> unterlag der DIN 19227-1, welche mittlerweile durch die EN 62424 abgelöst wurde. Für die Kennzeichnung von Mess- und Regelstellen werden die Normen EN 62424/ISO 3511 bzw. ISA S5.1 angewendet.

**EN 62424** Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik - Fließbilder und Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE- Systemen

**DIN 19227-2** Leittechnik; Graphische Symbole und Kennbuchstaben für die Prozessleittechnik; Darstellung von Einzelheiten

Diese Darstellung wird in der Praxis jedoch nicht durchgängig eingehalten.

---

<sup>3</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/RI-Flie%C3%9Fbild#Inhalt\\_und\\_Aufgabe\\_des\\_RI-Flie.C3.9Fbilds](http://de.wikipedia.org/wiki/RI-Flie%C3%9Fbild#Inhalt_und_Aufgabe_des_RI-Flie.C3.9Fbilds)

**Zum Beispiel:** Eine mögliche Anwendung

*PIRCSHAHL628:* Diese Darstellung entspricht einer Druckregelung mit Anzeige, Speicherung, Schaltung bei Erreichen des oberen Grenzwertes und Alarm bei Erreichen des oberen und unteren Grenzwertes.

Man kann sich relativ gut vorstellen, dass diese Art der Bezeichnungen ja mitunter sehr oft vorkommt und sich auch ändern (prozessbedingt bzw. anwendungsbedingt). Der damit verbundene Aufwand macht es mitunter notwendig von dieser Forderung abzuweichen.

Daher ist es auch im Zuge der Planungsphase eines Prozessleitsystems durchaus üblich eine Namenskonvention für die Messstellen zu etablieren und zu erarbeiten sofern das nicht bereits durch einen eigenen Firmenstandard gegeben ist.

Bei einigen Anwendungen im Bereich der Chemischen Industrie und vor allem bei den Pharma- Anwendungen ist es notwendig das Prozessleitsystem zu validieren. Da dies nur durch einen Standardsatz (z.B. Typicals, Namenskonventionen) vernünftig durchzuführen ist muss das ebenfalls genau betrachtet werden.

Näheres hierzu wird im Kapitel

Regulatorische Anforderungen behandelt.

### 4.3 Overlays (Faceplates)

Für die Bedienung und genauere Beobachtung ist es notwendig die Betriebsmittel (Ventile, Motoren, Messungen, etc.) genauer darzustellen als das in der Fließbilddarstellung möglich ist. Aus diesem Grund wird je Betriebsmittel ein eigenes Overlay (oder Faceplate) nach „anklicken“ geöffnet. In diesem geöffneten Fenster sind alle zusätzlichen Funktionen für das jeweilige Betriebsmittel hinterlegt.

Bei den meisten Herstellern werden die Overlays/Faceplates mitgeliefert und können daher übernommen werden, jedoch macht es mitunter Sinn eigene Darstellungen und Funktionen zu entwickeln.

Die Entwicklung solcher Overlays sollte aber im Voraus geschehen und die Funktion gründlich getestet werden. Man sollte immer bestrebt sein einen Standard für die jeweiligen Betriebsmittel zu definieren und davon nicht abweichen.

Bei einigen Anwendungen ist es notwendig das Prozessleitsystem zu validieren. Das ist jedoch nur durch einen Standardsatz vernünftig durchzuführen. Näheres hierzu wird im Kapitel

Programmierstandards (Typicals) behandelt.

### 4.4 Trends

Der zeitliche Verlauf eines Zustandes der Betriebsmittel wird als Trend bezeichnet. Trends sind für die Rückverfolgbarkeit unabdingbar und benötigen daher eine genaue Betrachtung bei der Planung.

Als Trend werden Messwerte, Sollwerte und auch Stellwerte über den zeitlichen Verlauf dargestellt. Der Trend ist meist über das Overlay/Faceplate aufrufbar und kann auch meist skaliert werden.

Durch die Ansammlung an Daten die daraus entstehen kann man sich gut vorstellen, dass Trends sowohl in der Anzahl als auch über den Zeitraum in dem aufgezeichnet wird begrenzt sind. Die Trends werden meist in einer Datenbank auf einer Festplatte archiviert (Ringspeicherprinzip). Es können aber auch eigene Rechner oder Server eingesetzt werden, welche sich mitunter nur um die Trendaufzeichnung kümmern. Die Anzahl der Datenpunkte (Datenpunkt pro Zeiteinheit, Abweichung zum vorherigen Datenpunkt), welche für einen einzelnen Trend gespeichert werden, kann auch meist konfiguriert werden. Es gelten hierbei auch hier die angeführten Dinge für Validierung und Qualifizierung welche unter Kapitel

Regulatorische Anforderungen behandelt werden. Das bedeutet die Trendaufzeichnung muss seitens der Qualifizierung betrachtet werden.

### 4.5 Events (Meldungen, Alarme, Bedieneingriffe)

Alle Vorkommnisse im Prozessleitsystem(Meldungen, Alarme, Bedieneingriffe, etc.) werden als Event bezeichnet. Auch diese werden in einer Datenbank oder in einem „Log-File“ gespeichert um hier für die Vergangenheit eine Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

Die Darstellung der Events auf der BUB-Ebene ist im Prozessleitsystem konfigurierbar (Prioritäten, Farbumschläge) und sollte ebenfalls vor dem Aufbau genauer betrachtet werden. Es wird auch hier meist vom Hersteller ein „fertiges“ Paket mitgeliefert das übernommen werden kann.

Ein eingehaltener Standard erleichtert auch hier die Arbeit und Übersicht. Für die Langzeitarchivierung dieser Daten werden des Öfteren eigene Systeme aufgebaut. Ein Beispiel dazu wird noch im Kapitel

Externe Systeme beschrieben.

## 5 Prozessnahe Komponenten (PNK)

Die prozessnahen Komponenten werden meist in einem „Rack“ oder auf einer „Backplane“ im Schaltschrank aufgebaut (Scheibenprinzip). Auf diesem Rack/Backplane sind diverse Steckplätze(Slots) für die unterschiedlichen Komponenten diese werden als Karten darauf untergebracht.

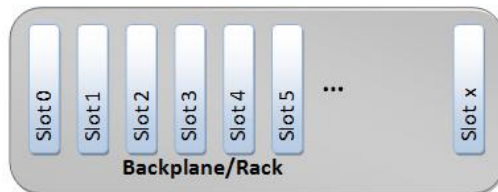


Abbildung 7: Backplane/Rack

Darauf **muss** sich immer eine Spannungsversorgung befinden. Die Anordnung von Controller(n), Kommunikationskarten, Karten für Signalaufnahme und Signalausgabe(IO- Karten) kann je System und Hersteller variieren. Bei modernen Systemen platziert man die Komponenten im Rack und man gibt nur mehr bei der Konfiguration der Hardware die jeweiligen Komponenten an. Diese werden dann richtig erkannt, angesprochen und sind betriebsbereit. Für bestimmte Komponenten (z.B. Controller oder Spannungsversorgung) kann ein bestimmter Slot fix vorgegeben sein in dem diese platziert werden muss.

**Zum Beispiel:** Man kann beim Hersteller Rockwell Automation ein Rack aus nur einer Spannungsversorgung aber mit mehreren Controllern und nur einer Kommunikationskarte aufbauen.

→Also ohne Signalaufnahme und Signalausgabe Karten.

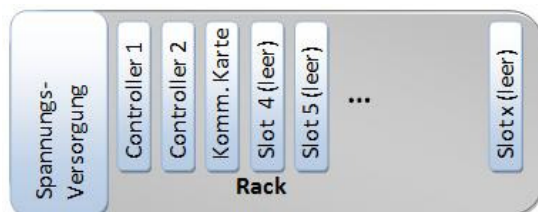


Abbildung 8: Beispiel Rack von Rockwell Automation

## 5.1 Signalverarbeitung (Aufnahme, Wandlung, Ausgabe)

Die Hauptaufgaben der Prozessnahen Komponenten sind die Signalaufnahme, Signalwandlung und Signalausgabe. Für Signalaufnahme und Signalausgabe werden verschiedenste Typen von so genannten IO- Karten eingesetzt. Die Signalwandlung übernimmt fast immer der Controller.

Passend dazu kann die Funktion der prozessnahen Komponenten an das EVA-Prinzip aus der EDV angelehnt werden, dieses besagt:

Das EVA-Prinzip<sup>4</sup> (Eingabe - Verarbeitung, per DVA Datenverarbeitungsanlage - Ausgabe) gilt als Grundschemata der Datenverarbeitung. Es bezieht sich sowohl auf die Organisation der Hardware als auch auf das EDV-System (Hard- und Software) als Ganzes:

- In der Hardware muss klar sein, welche Eingangssignale empfangen werden sollen (Tastatur- oder Mauseingaben, Netzwerkverbindungen, ...), wie sie verarbeitet werden sollen (z. B. eine Berechnung durchführen) und in welcher Form die Daten ausgegeben werden sollen (Bildschirmausgang, Drucker-, Netzwerk-, Ton-Ausgänge, ...).
- In der Software muss klar sein, welche Eingangsdaten ein Programm erhält (Tastendrucke und/oder Dateien von einem Datenträger, ...), was es damit machen soll (mathematische Berechnungen, Berechnung von Grafikelementen, ...) und was in welcher Form ausgegeben werden soll (Bildschirmausgaben in Text oder Grafik, Abspeicherung auf einen Datenträger, ...).



Abbildung 9: EVA- Prinzip

(Wikipedia - EVA Prinzip, 2010)

---

<sup>4</sup> [URL] <http://de.wikipedia.org/wiki/EVA-Prinzip>



Abbildung 10: Signalverarbeitung

Man kann sich hierbei sehr gut den Zusammenhang zwischen den beiden Verarbeitungsprinzipien sehen.

Bei der **Aufnahme** und **Ausgabe** unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten von Signalen:

◆ Binäre (digitale)

Binäre Signale besitzen 2 Zustände „0“ und „1“ oder auch als „Low“ und „High“ bezeichnet. Diese Signale finden sich bei Anwendungen bei denen 2 Zustände als ausreichend gelten.

(Schaltventil Auf/Zu, Motor Läuft/LäuftNicht, Temperatur ZuHoch/NichtZuHoch,...)

In der Chemischen Industrie (Pharmaindustrie) erfolgt der elektrotechnische Aufbau dieser Signale zu einem sehr großen Anteil als „0 Volt“ und „24Volt“ Gleichspannungssignale.

Die verschiedenen Typen digitaler Ein- und Ausgangskarten hängt von folgenden Punkten maßgeblich ab:

- Signalart
- Einsatz- Umgebungsbedingungen
- Anzahl der Kanäle
- Geschwindigkeit

Die wesentlichen Eigenschaften müssen bei der Auswahl der I/O Komponenten betrachtet werden.

Für die Umsetzung eines binären Signals gibt es prinzipiell 2 Möglichkeiten.

**Zum Beispiel:** Not-Aus

Für einen Not-Aus Taster ist aus Sicherheit(Drahtbruch, etc.) vorgeschrieben, dass das „Stör-Ergebnis“ dem binären Zustand „0“ also „Low“, oder als Spannungswert am Eingang der I/O Karte ausgedrückt „0V“ entsprechen. Der „Gutzustand“ ist wiederum als „1“ „High“ oder als Spannungswert am Eingang der I/O Karte mit „0V“definiert.

Grundsätzlich werden Not-Aus Anwendungen immer über einen eigenen Aufbau realisiert (z.B. über Not-Aus Relais)

Dieses Beispiel soll nur zeigen, dass für binäre Signale dem erwarteten Ergebnis angepasst werden sollte um ein sicheres Ergebnis zu erhalten.

Für die Kosten in einem Prozessleitsystem ist natürlich in erster Linie die Anzahl der I/Os ausschlaggebend. Man sollte aber auch während der Planung immer ein Auge auf die Signalauswahl haben. Binäre I/O- Komponenten sind im Verhältnis zu den analogen erheblich günstiger. Somit kann man durch gezielten Einsatz von binären Signalen Kosten sparen dies ist ein oft unterschätzter Vorteil dieses Signaltyps.

### ◆ Analoge

Analoge Signale sind für Anwendungen die über einen bestimmten Bereich alle Zwischenwerte annehmen können.

In der chemischen Industrie (Pharmaindustrie) erfolgt der elektrotechnische Aufbau dieser Signale zu einem sehr großen Anteil als „4-20mA“ Signale. Wobei die 4mA für den unteren Grenzwert vom Messbereich und die 20mA für den oberen Grenzwert vom Messbereich stehen.

**Zum Beispiel:** Druckmessung Messbereich 0 – 10 bar absolut

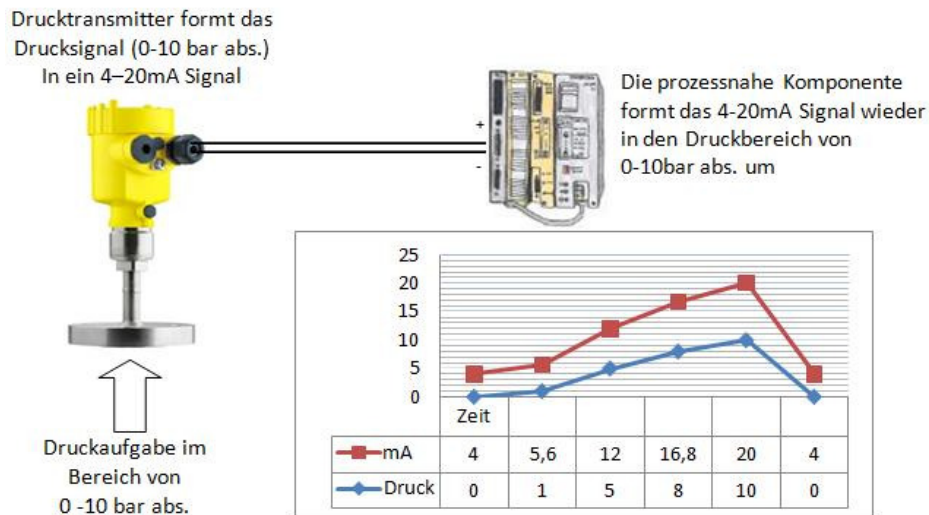


Abbildung 11: Analoge Druckmessung 4-20mA

Die Umformung des 4-20mA Signals in der IO- Karte (in diesem Beispiel eine analoge Eingangskarte) übernimmt ein analog-digital Wandler (AD- Wandler).

Die Einteilung der verschiedenen Typen analoger Ein- und Ausgangskarten hängt von folgenden Punkten maßgeblich ab:

- Signalart
- Einsatz- Umgebungsbedingungen
- Anzahl der Kanäle
- Auflösung der AD- Wandler
- Geschwindigkeit

Die Eigenschaften beeinflussen auch hier wesentlich die Auswahl der richtigen I/O Karten. Im Lauf der Zeit wurden die AD- Wandler in ihrer Auflösung immer genauer, daher hat man bei heutigen Anwendungen in der Regel keine Probleme. Frühere I/O Karten besaßen beispielsweise nur 4095 Inkremente(entspricht der Auflösung). Das bedeutet, dass der Messbereich darauf aufgeteilt wurde. Solche I/O- Karten sind aber auch heute noch im Einsatz.

**Zum Beispiel:** Messbereich 0-20.000mbar bei 4095 Inkrementen hat eine Auflösung von ca. 4,88mbar/Inkrement.

Die **Wandlung** übernimmt wie oben bereits erwähnt fast immer der Controller. Im Controller ist das Anwenderprogramm vorhanden und wird dort abgearbeitet. Der Controller bildet das Herzstück vom Prozessleitsystem, es wird dort sowohl die Weiterleitung von Messsignalen, die Weiterleitung von Stellsignalen, die Überwachung/Alarmierung von Signalen, die Regelungsaufgaben, die Überwachung der Prozessleitsystemkomponenten → Diagnosefunktion (falls vorhanden) und die Rezeptsteuerung (falls vorhanden).

## 5.2 Verschiedene Funktionen (Steuerung, Regelung)

Die Steuerung der Prozesse in der chemischen Industrie (Pharmaindustrie) übernimmt wie im Bild der Signalverarbeitung (Aufnahme, Wandlung, Ausgabe) dargestellt der Controller. Die Steuerung der Prozesse wird zum Großteil als Ablaufsteuerungen aufgebaut. Die Ablaufsteuerung ist vereinfacht gesagt eine Abfolge von Schritten die nacheinander abgearbeitet werden wobei der folgende Schritt erst ausgeführt wird wenn eine definierte Bedingung erfüllt ist.

Die gängigste Art der Programmierung hierfür ist der „Sequential Function Chart“ (SFC) zu Deutsch Ablaufsprache. Für den Aufbau einer Rezeptsteuerung macht es Sinn die Steuerung der Prozesse auf der Basis von Sequential Function Charts aufzubauen.

Die Regelungsaufgaben kann man prinzipiell in zwei Teilgebiete unterscheiden:

- ◆ unstetige Regler

Unstetige Regler werden meist für Zweipunktregelaufgaben eingesetzt. Die beste Erklärung hierfür anhand eines einfachen Beispiels.

**Zum Beispiel:** Füllstandsregelung eines Behälters

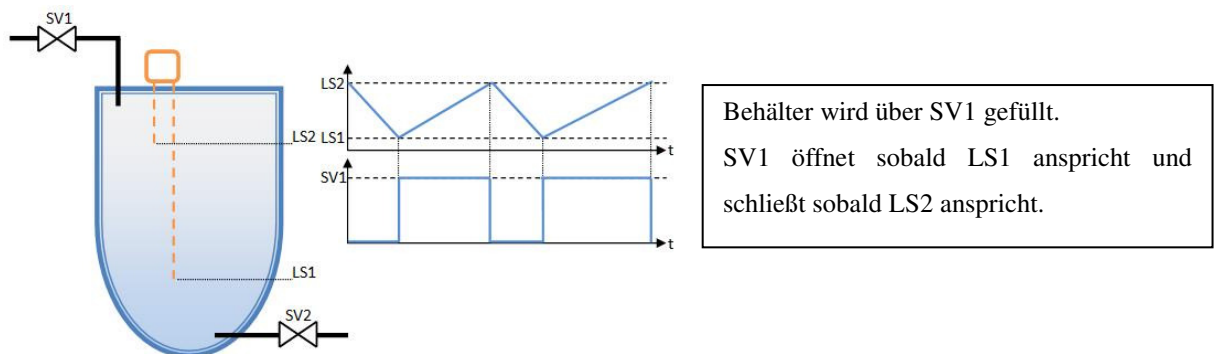


Abbildung 12: Unstetige Füllstandsregelung

- ◆ stetige Regler

Stetige Regler vergleichen innerhalb eines Regelkreises laufend das Signal des Sollwertes mit dem gemessenen und zurückgeführten Istwert der Regelgröße. Es wird eine Regelabweichung aus der Differenz der beiden Größen ermittelt. Daraus entsteht die Stellgröße, welche die Regelstrecke so beeinflusst, dass die Regelabweichung kleiner wird. In der Praxis kommt auch immer eine Störgröße über die Regelstrecke zum tragen die den Regler beeinflusst. Daraus kann man folgendes Blockschaltbild eines Regelkreises ableiten.

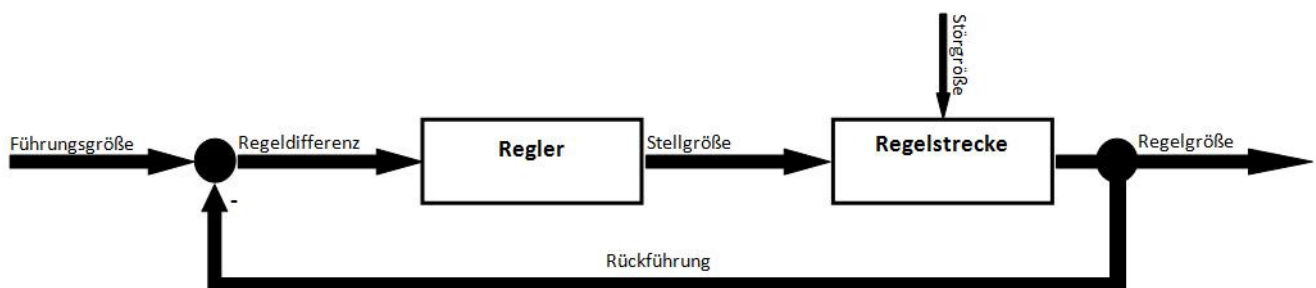


Abbildung 13: Regelstrecke mit Störgröße



Der bekannteste und auch am meisten eingesetzte Regler in der Chemischen Industrie ist der stetige Regler mit PID- Regelverhalten. Dieser ist eine Zusammensetzung von einem Proportionalregler(**P**) einem Integralregler(**I**) und einem Differentialregler(**D**).

Der Proportionalregler besteht ausschließlich aus einem proportionalen Anteil - der Verstärkung. Mit seinem Ausgangssignal ist er proportional zum Eingangssignal. Ein Integralregler wirkt durch zeitliche Integration der Regelabweichung auf die Stellgröße mit der Gewichtung durch die Nachstellzeit entgegen. Der Differentialregler reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung, sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit.

Als Blockschaltbild kann der PID- Regler wie folgt als Parallelschaltung (Ersatzschaltbild) der Teile dargestellt werden.

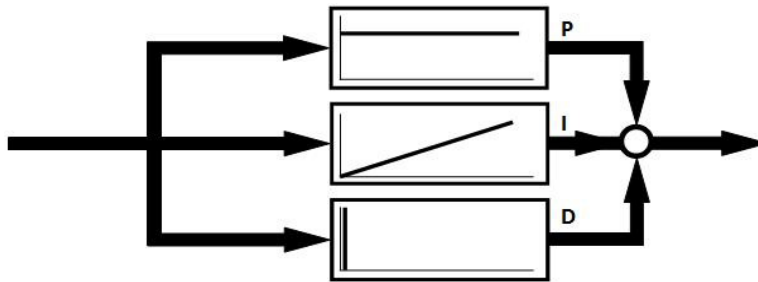


Abbildung 14: PID-Regler Parallelersatzschaltbild

Der PID- Regler ist bei den verschiedenen Herstellern als eigene Funktion für die Programmierung im Prozessleitsystem bereits vorgefertigt verfügbar.

Ein Programmaufbau eines Führungs- und eines Folgereglers wird als Kaskadenregelung bezeichnet und kommt meist bei Temperierungen zum Einsatz. Bei einer Kaskadenregelung bildet der Führungsregler vereinfacht gesagt den Sollwert für den Folgeregler.

Eine weitere Funktion ist die Überwachung der Prozesswerte. Diese können produktbedingte Überwachungen und anlagenbedingte Überwachungen sein und dem jeweiligen Schutz dienen.

In der Chemischen Industrie können mitunter unsichere Zustände in der Anlage auftreten daher ist hier eine entsprechende Überwachung nötig. Für die Sicherheit in chemischen Anlagen sind Drücke und Temperaturen meist die am kritischsten Messstellen. Für die kritischen Messstellen werden hier Grenzwerte zu den Prozessschritten hinterlegt, welche bei Erreichen weitere Aktionen in der Anlage zur Folge haben. Dies kann im einfachsten Fall eine Benachrichtigung/Alarmierung sein, sich aber bis hin zu eigens definierten Routinen ziehen, die in diesem Fall noch ausgeführt werden müssen. → Abfahrroutinen oder sicherheitsgerichtete Funktionen

### 5.3 Bus- und Kommunikationssysteme

Die Definition eines Bussystems<sup>5</sup> lautet wie folgt:

Ein Bus ist ein System zur Datenübertragung zwischen mehreren Teilnehmern über einen gemeinsamen Übertragungsweg, bei dem Teilnehmer nicht an der Datenübertragung zwischen anderen Teilnehmern beteiligt sind.

Es gibt sehr viele verschiedene Arten von Bussystemen die in Prozessleitsystemen ihre Anwendung finden. Ebenfalls ist die Verbreitung der einzelnen Bussysteme sowohl durch den Prozessleitsystem Hersteller, den Endnutzer und somit auch regional bedingt verschieden. Aus diesem Grund wird unter diesem Punkt nur eine Übersicht jener Systeme dargestellt die aus meiner Sicht am wichtigsten sind.

Weiters kann man die Kommunikation zwischen den Prozessnahen Komponenten über Bussysteme in 4 Teilgebiete ihrer Anwendung nach unterteilen:

◆ Kommunikation Rack/Backplane intern

Das eingesetzte Protokoll das hier angewendet wird ist vorgegeben und kann somit nicht frei gewählt werden.

Die Bus-Verbindung auf dem Rack/Backplane gilt generell als:

- zuverlässigste,
- schnellste
- und auch leistungsfähigste Verbindung.

Für kritische Anwendungen ist daher aus meiner persönlichen Ansicht immer dieser Kommunikationsweg zu wählen, was bedeutet man platziert die benötigten Komponenten auf einem gemeinsamen Rack/Backplane.

◆ Kommunikation zu einem weiteren Rack/Backplane

Für die Kommunikation zu einem weiteren Rack bzw. einer Backplane können alle erdenklichen Arten der Bussysteme zur Anwendung kommen. Diese häufigsten und aus meiner Sicht wichtigsten sind wie bereits erwähnt ProfibusDP, ProfibusPA, ControlNet und Industrial Ethernet. Beim Industrial Ethernet, welches auf dem EthernetTCP/IP Standard basiert, gibt es leider wiederum verschiedene Abwandlungen und Erweiterungen. Diese werden von diversen Herstellern in deren bevorzugte Richtung weiterentwickelt.

◆ Kommunikation zu einem Remote I/O

Hierfür sind dieselben Varianten einsetzbar wie im vorherigen Punkt zur Kommunikation zu einem weiteren Rack/Backplane, die Unterscheidung dieser Punkte wird aufgrund der besseren Übersicht gemacht.

Es ist meist ein anderer Kommunikationsstandard für diese beiden Punkte etabliert und es ist daher sinnvoll diese Punkte separat aufzuführen.

◆ Kommunikation zu einem Feldgerät

Auch hier sind die oben angeführten Varianten möglich. In diesem Fall muss natürlich auch das Feldgerät eine entsprechende Schnittstelle besitzen. Das Feldgerät (z.B. Frequenzumrichter für einen Motor) ist ganz nah am Prozess, somit ist man auf die Prozessebenen gesehen ganz „unten“ in der Anlage angekommen.

---

<sup>5</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Bussystem#cite\\_note-IEV\\_351-32-10-0](http://de.wikipedia.org/wiki/Bussystem#cite_note-IEV_351-32-10-0)

### 5.3.1 Profibus

Folgende Erläuterung liegt dem Beitrag von der Webseite Wikipedia zum Thema Profibus zu Grunde die Inhalte wurden Großteils übernommen.

Der Profibus<sup>6</sup> (Process Field Bus) ist ein Standard für die Feldbus-Kommunikation in der Automatisierungstechnik und wurde anfangs (1989) vom BMBF gefördert. Es ist nicht zu verwechseln mit dem PROFINET-Standard für Industrial Ethernet. Die Geschichte von PROFIBUS geht auf ein 1987 in Deutschland gestartetes öffentlich gefördertes Verbundvorhaben zurück, für welches 21 Firmen und Institute einen Projektrahmenplan „Feldbus“ ausgearbeitet hatten. Ziel war die Realisierung und Verbreitung eines bitseriellen Feldbusses, wofür die Normung der Feldgeräteschnittstelle die Grundvoraussetzung schaffen sollte. Dazu verständigten sich einschlägige Mitgliedsfirmen, ein gemeinsames technisches Konzept für die Fertigungs- und Prozessautomatisierung zu unterstützen. In einem ersten Schritt wurde das komplexe Kommunikationsprotokoll ProfibusFMS (Fieldbus Message Specification) spezifiziert, welches auf anspruchsvolle Kommunikationsaufgaben zugeschnitten war. In weiteren Schritten wurde ab 1993 die Spezifikation des einfacher aufgebauten und daher wesentlich schnelleren Protokolls ProfibusDP (Decentralized Peripherals) durchgeführt.

PROFIBUS existiert in drei Varianten, wobei ProfibusDP die meistgenutzte ist:

**ProfibusDP** (Dezentrale Peripherie) zur Ansteuerung von Sensoren und Aktoren durch eine zentrale Steuerung in der Fertigungstechnik. Hier stehen insbesondere auch die vielen Standarddiagnosemöglichkeiten im Vordergrund. Weitere Einsatzgebiete sind die Verbindung von „verteilter Intelligenz“, also die Vernetzung von mehreren Steuerungen untereinander (ähnlich ProfibusFMS). Bei ProfibusDP sind Datenraten bis zu 12 Mbit/s auf verdrehten Zweidrahtleitungen und/oder Lichtwellenleiter möglich.

**ProfibusPA** (Prozess-Automation) wird zur Kontrolle von Messgeräten durch ein Prozessleitsystem in der Prozess- und Verfahrenstechnik eingesetzt. Diese Variante des Profibus ist für explosionsgefährdete Bereiche (EX- Zone 0 und 1) geeignet. Hier fließt auf den Busleitungen in einem eigensicheren Stromkreis nur ein begrenzter Strom, so dass auch im Störfall keine explosionsfähigen Funken entstehen können. Ein Nachteil des ProfibusPA ist die relativ langsame Datenübertragungsrate von nur 31,25 kbit/s.

**PROFIBUSFMS** (Fieldbus Message Specification) wird nicht aufgrund der spärlichen Einsätze nicht betrachtet.

#### OSI- Modell für Profibus

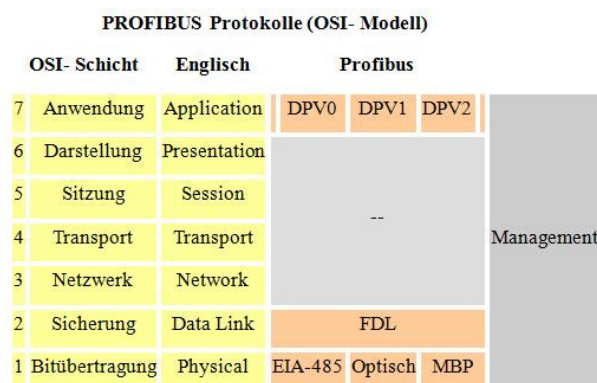


Abbildung 15: OSI- Modell Profibus

<sup>6</sup> [URL] <http://de.wikipedia.org/wiki/Profibus>

## Anwendungsschicht

Die DP-Anwendungsschicht wurde in drei Schritten definiert. Das ursprünglich 1993 festgeschriebene DP-Protokoll wird heute umgangssprachlich als „DPV0“ bezeichnet, die beiden Erweiterungen entsprechend „DPV1“ und „DPV2“. In den einzelnen Stufen wurden folgende Funktionen definiert:

- In DPV0 der zyklische Austausch der Daten und Diagnosen. Geräte, die diesen Funktionsumfang unterstützen, finden vor allem in der allgemeinen Automatisierungstechnik und Maschinensteuerung Einsatz.
- In DPV1 der azyklische Datenaustausch und die Alarmbehandlung. Geräte, die diese Erweiterungen unterstützen, finden sich vor allem in der Verfahrenstechnik. Mögliche Einsätze sind hier für „intelligente Feldgerätemanagementsysteme wie z.B. das Asset Management Software AMS von Emerson
- In DPV2 der isochrone Datenaustausch, der Slave-Querverkehr und die Uhrzeitsynchronisation. Mit dieser Erweiterung wurden vor allem Anforderungen aus der Fertigungstechnik und Robotersteuerung implementiert. Diese sind für die Chemische Industrie aber zweitrangig und selten anzutreffen.
- Das PA-Protokoll wurde im Rahmen der Entwicklungsstufe DPV1 definiert.

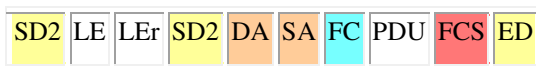
## Sicherungsschicht

Die Sicherungsschicht FDL (Fieldbus Data Link) arbeitet mit einem hybriden Zugriffsverfahren, das Token-Passing mit einem Master-Slave-Verfahren kombiniert. In einem Profibus-Netzwerk sind die Steuerungen oder Prozessleitsysteme die Master und die Sensoren und Aktoren die Slaves.

Es werden verschiedene Telegrammtypen verwendet, die durch den Startdelimiter (SD) unterschieden werden können anhand (ProfibusDP):

Keine Daten:

SD1=0x10



Daten fester Länge(selten):

SD3 = 0xA2



Daten variabler Länge:

SD2=0x68



Token:

SD4 = 0xDC



Kurzquittung:

SC = 0xE5



Abbildung 16: ProfibusDP- Sicherungsschicht

SD: Start Delimiter, zur Unterscheidung des Telegrammtyps

FC: Function Code

LE: Länge der Nettodaten, (incl. DA,SA,FC,DSAP,SSAP)

DA: Destination Address

LEr: Wiederholung der Nettodaten Länge, (Hamming-Distanz =4 !)

SA: Source Address

DSAP: Destination Service Access Point

SSAP: Source Service Access Point

PDU: Protocol Data Unit (Nettodaten)

FCS: Frame Check Sequence

ED: End Delimiter (= 0x16 )

Die Frame Check Sequence (FCS) wird durch einfaches Aufsummieren der Bytes innerhalb der angegebenen Länge berechnet. Ein Überlauf wird dabei ignoriert. Jedes Byte wird mit einer geraden Parität gesichert und asynchron mit Start- und Stopp-Bit übertragen.

Die einzelnen Bytes eines Telegramms müssen schlupffrei, d.h. ohne Pause zwischen dem Stopp- und dem nächsten Start-Bit, übertragen werden. Der Master signalisiert den Beginn eines neuen Telegramms mit einer SYN-Pause von mindestens 33 Bit (logisch „1“ = Busruhezustand).

Bei ProfibusPA existiert die gleiche Aufteilung der Telegrammtypen, sie haben einen anderen Telegrammrahmen, der im Unterschied zu ProfibusDP für alle Telegrammtypen (außer Start Delimiter SD) gleich ist, u.a. mit speziellen Bit-Symbolen des Manchester-Codes und einer Präambel zur Synchronisation.

Ein 16Bit langer Cyclic Redundancy Check (CRC) ersetzt als FCS die Prüfsumme, wird jedoch bei jedem Telegrammtyp eingesetzt. Die Pausenzeiten zwischen den Telegrammen sind ebenfalls verschieden festgelegt. Bei dem gleichspannungsfreien Signalpegel ist der Busruhezustand durch das Nichtvorhandensein eines Signals bestimmt (kein Signalpegelwechsel).

### **Bitübertragungsschicht**

Bei der Bitübertragungsschicht sind drei verschiedene Verfahren festgelegt:

Bei der elektrischen Übertragung nach EIA-485(RS-485) werden verdrehte Zweidrahtleitungen mit einer Wellenimpedanz von 150 Ohm in einer Bustopologie eingesetzt. Es können Bitraten von 9600 Bit/s bis 12 MBit/s projiziert werden. Je nach verwendeter Bitrate ist die Kabellänge zwischen zwei Repeatern auf 100 bis 1200 Meter beschränkt. Dieses Übertragungsverfahren wird vor allem beim ProfibusDP und ProfibusFMS eingesetzt.

Für die elektrische Übertragung sind zwei verschiedene Kabeltypen spezifiziert (Typ A und Typ B). Das bekannteste Kabel ist das lila Kabel vom Typ A.

Bei der optischen Übertragung über Lichtwellenleiter kommen Stern-, Bus-(Strang-), und Ring-Topologien zum Einsatz. Die Distanzen zwischen den Repeatern können bis zu 15 km betragen. Die Ring-Topologie kann auch redundant ausgeführt werden.

Bei der MBP (Manchester Bus Powered) Übertragungstechnik werden über dasselbe Kabel die Daten und die Speisung(Versorgung) der Feldgeräte übertragen. Die Leistung kann so begrenzt werden, dass auch ein Einsatz in explosionsgefährlicher Umgebung möglich ist. Dann spricht man von einem so genannten eigensicheren Bereich. Für diesen Bereich besitzen die Buskabel, die eine andere Spezifikation haben als der Kabeltyp A (EIA-485), einen blauen Mantel. Die Bustopologie kann bis zu 1900 Meter lang sein und lässt Abzweigungen zu den Feldgeräten mit maximal 120 Meter Länge zu.

Die Bitrate beträgt hier fest 31,25 kBit/s. Diese Technologie ist speziell für den Einsatz in der Prozessautomation für ProfibusPA festgelegt worden.

### 5.3.2 DeviceNet

DeviceNet<sup>7</sup> wurde von Rockwell Automation und der ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) als offener Feldbusstandard, basierend auf dem CAN-Protokoll, entwickelt. DeviceNet ist in der europäischen Norm EN 50325 standardisiert. Spezifikation und Pflege des DeviceNet- Standards obliegen der ODVA. DeviceNet gehört wie ControlNet und EtherNet/IP zur Familie der CIP- basierten Netzwerke. CIP (Common Industrial Protocol) bildet die gemeinsame Applikationsschicht dieser drei industriellen Netzwerke. DeviceNet, ControlNet und Ethernet/IP sind daher gut aufeinander abgestimmt und stellen dem Anwender ein abgestuftes Kommunikationssystem für die Leitebene (EtherNet/IP), Zellebene (ControlNet) und Feldebene (DeviceNet) zur Verfügung. DeviceNet ist ein objektorientiertes Bussystem und arbeitet nach dem Producer/Consumer- Verfahren. DeviceNet- Geräte können sowohl Client (Master) oder Server (Slave) oder beides sein. Clients und Server können wiederum Producer, Consumer oder beides sein.

#### DeviceNet- Installation

In einem DeviceNet- Netzwerk können bis zu 64 Busteilnehmer mit Baudraten von 125-, 250- oder 500- kBaud miteinander kommunizieren. Das DeviceNet- Kabel sieht neben den beiden Signalen für die Datenübertragung CAN-L und CAN-H auch zwei Leitungen für die Versorgung der DeviceNet- Busteilnehmer mit 24Volt Betriebsspannung vor. Die Busteilnehmer können bus- versorgt(gespeist) oder fremdversorgt ausgeführt werden. Die maximale Länge des DeviceNet- Kabels ist abhängig vom gewählten Kabeltyp und der Baudrate. Die Installation erfolgt in einer Bustopologie - mit oder ohne Abzweigen - und Abschlusswiderständen an beiden Enden. Die Abschlusswiderstände haben einen Wert von 120 Ohm.

Das DeviceNet- Protokoll ist ein objektorientiertes Protokoll. Es wird typischerweise für die Vernetzung von Sensoren und Aktoren mit den übergeordneten Automatisierungsgeräten (SPS) benutzt. Die Bandbreite der über DeviceNet anschließbaren Geräte reicht von der einfachen Lichtschranke bis hin zu „komplexen“ Geräten.

#### Data Link Layer

Die Schicht 2 (Data Link Layer) basiert auf dem Controller Area Netzwerk (CAN), das ursprünglich für den Einsatz innerhalb von Kraftfahrzeugen konzipiert wurde. CAN zeichnet sich insbesondere durch ein zerstörungsfreies Verfahren zur Behebung von Kollisionen bei gleichzeitiger Nachrichtenübermittlung mehrerer Stationen aus. Bei CAN hat jede Nachricht eine eigene Priorität und im Fall, dass mehrere Stationen gleichzeitig eine Nachricht senden, setzt sich immer die Station durch, deren Nachricht gerade die höchste Priorität hat. In einem CAN-Telegramm können 0-8 Byte Nutzdaten übertragen werden. Der Aufbau eines CAN Telegramms ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

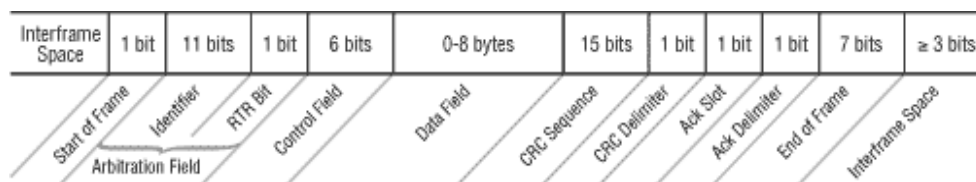


Abbildung 17: DeviceNet- Data Link Layer Aufbau

<sup>7</sup> [URL] <http://www.feldbusse.de/DeviceNet/protokoll.shtml>

### Netzwerk- Layer und Data Transport Layer

Bevor zwei DeviceNet Geräte Daten miteinander austauschen können, muss eine Verbindung zwischen den beiden Geräten aufgebaut werden. Der Aufbau der Verbindung erfolgt entweder über den Unconnected Message Manager (UCMM) oder den Group 2 Unconnected Port. Für den Verbindungsaufbau werden ausgewählte CAN Identifier benutzt. Eine einmal aufgebaute Verbindung kann dann für die Übertragung von Explicit Messages oder für den Aufbau zusätzlicher I/O-Verbindungen genutzt werden. Sobald eine I/O- Verbindung aufgebaut wurde, können I/O- Daten zwischen den DeviceNet- Teilnehmern ausgetauscht werden. Für die Kodierung von I/O- Daten wird ausschließlich der 11 Bit Identifier benutzt. Die 8 Bytes breite CAN- Data-Field stehen vollständig für die Nutzdaten zur Verfügung.

IDENTIFIER BITS											HEX RANGE	IDENTITY USAGE
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
0	Group 1 Message ID				Source MAC ID						000 - 3ff	Message Group 1
1	0	MAC ID					Group 2 Message ID				400 - 5ff	Message Group 2
1	1	Group 3 Message ID			Source MAC ID						600 - 7bf	Message Group 3
1	1	1	1	1	Group 4 Message ID (0 - 2f)						7e0 - 7ef	Message Group 4
1	1	1	1	1	1	1	X	X	X	X	7f0 - 7ff	Invalid CAN Identifiers
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		

Abbildung 18: DeviceNet- Bitstruktur

Der 11 Bit lange CAN Identifier wird für die Kodierung der Connection-ID benutzt. Dabei ist unbedingt auf die Eindeutigkeit der Connection-IDs zu achten, um alle Vorteile des Producer/Consumer- Verfahrens ausnutzen zu können. DeviceNet unterteilt den 11 Bit CAN Identifier in vier Gruppen.

DeviceNet-Geräte können Client oder Server oder beides sein. Clients und Server können Producer, Consumer oder beides sein. Die Verbindung eines typischen Clients sendet Requests (Produce) und empfängt Responses (Consume). Die Verbindungen eines typischen Servers empfangen Requests (Consume) und senden Responses (Produce). DeviceNet ermöglicht mehrere Varianten dieses Prinzips. Bei Client oder Server ist es auch möglich, Verbindungen so zu konfigurieren, dass sie nur Nachrichten empfangen oder nur Nachrichten senden. Verbindungen die nur Nachrichten senden, dienen als Datenquelle für zyklische Nachrichten oder Change-of-State (Statusänderung) Nachrichten. Die Verwendung von Change-of-State Nachrichten trägt erheblich zu einer Reduzierung des Datenaufkommens im DeviceNet bei.



### **Anwendungsschicht - CIP-Protokoll**

CIP (Common Industrial Protocol) bildet die Anwendungsschicht von DeviceNet. CIP definiert den Austausch von I/O-Daten in Echtzeit über I/O-Nachrichten sowie den Austausch von Bedarfsdaten für Konfiguration, Diagnose und Management über explizite Nachrichten. Die Kommunikation zwischen zwei Geräten erfolgt dabei immer nach einem Verbindungsorientierten Kommunikationsmodell, entweder über eine Peer to Peer oder eine Multicast-V1-Verbindung. Damit lassen sich sowohl Master/Slave-Systeme als auch Multi-Master-Systeme realisieren. Daten werden als Objekte bezeichnet und sind im Objektverzeichnis eines jeden Gerätes eingetragen.

### **Predefined Master/Slave Connection Set**

Für einfache DeviceNet-Slave-Geräte wurde das so genannte "Predefined Master/Slave Connection Set" spezifiziert. Dieses Subset des DeviceNet-Protokolls vereinfacht die Übertragung von I/O-Daten zwischen einem Prozessleitsystem und den dezentralen Peripherie-Feldgeräten (Slaves). Unterstützt werden implizite und explizite Nachrichten, Polled-I/O, Multicast-Polled-I/O und Bit-Strobed-I/O-Nachrichten vom Master an den Slave sowie Change-of-State/Cyclic-I/O-Nachrichten vom Slave an den Master.

### **5.3.3 ControlNet**

ControlNet<sup>8</sup> wurde von Rockwell Automation und der ControlNet-International-Nutzergruppe entwickelt. Es ist in der europäischen Norm EN 50170 standardisiert.

ControlNet ermöglicht es, die zyklische I/O-Datenübertragung und die azyklische Datenkommunikation für Konfiguration und Programm-Up-/Download gleichzeitig auszuführen. Dabei ist sichergestellt, dass weder Durchsatz noch Determinismus oder zyklische Wiederholbarkeit beeinflusst werden: Zeitkritische Daten haben garantierte Übertragungszeitpunkte, der restliche Datenverkehr lässt sich hinsichtlich seiner maximalen Übertragungszeiten eindeutig vorherbestimmen. Einfache Anwendungen (z.B. 32 Knoten mit je 8 Bit I/O-Daten) haben eine Buszykluszeit von ca. 2ms.

### **ControlNet- Installation**

ControlNet bietet flexible Installationsalternativen und kann in Bus-, Baum- und Stern-Topologien aufgebaut werden. Geräteabzweige können beliebig angeordnet werden, ohne Rücksicht auf Mindestabstände. Auch die Medienredundanz ist in der ControlNet-Spezifikation enthalten und kann als Option zur Steigerung der Verfügbarkeit des Netzwerkes eingesetzt werden. Ein typisches ControlNet-Netzwerk besteht aus folgenden Komponenten: Hauptkabel, Abzweige, Repeatern, Abschlusswiderstände und Bridges. Das ControlNet-Hauptkabel ist der Bus bzw. der zentrale Bestandteil des Systems. Es können entweder Koaxialkabel oder LWL-Kabel verwendet werden. An jedem Knoten im Netzwerk ist das Hauptkabel über BNC-Steckverbinder mit den Abzweigen verbunden. Die Abzweige sind am Ende jedes Kabelsegments mit Abschlusswiderständen versehen. Mit Repeatern lässt sich die zulässige Anzahl der Abzweige erhöhen, die Gesamtlänge des Segments erweitern oder eine Ring-, Stern- oder Baum-Struktur erstellen (Kabelverzweigungen von einem Punkt in mehrere Richtungen). Die Anzahl der Repeater und die gesamte Kabellänge sind begrenzt und von der Netzwerktopologie abhängig.

Der NAP (Network Access Port) steht zusätzlich als eine lokale RS-422-Verbindung zum temporären Direktanschluss ans ControlNet für Konfigurations-, Diagnose- und Programmierzwecke zur Verfügung. Für den Anschluss an den NAP ist auf den Feldgeräten eine RJ45-Buchse erforderlich.

---

<sup>8</sup> [URL] <http://www.feldbusse.de/Controlnet/controlnet.shtml>



Übertragungsgeschwindigkeit	5 Mbit/s
Kabel	RG-6 Koax
Stecker	BNC
Stationen im Netz	Max. 99
Max. Netzausdehnung ohne Repeater	1 km
Max. Netzausdehnung mit Repeater	25 km
Datensicherung	CRC-16

Tabelle 1: ControlNet Leistungsdaten

### Das ControlNet Protokoll<sup>9</sup>

Die ControlNet- Spezifikation basiert auf dem klassischen OSI- Referenzmodell. Die verschiedenen Schichten heißen im Englischen „Layer“.

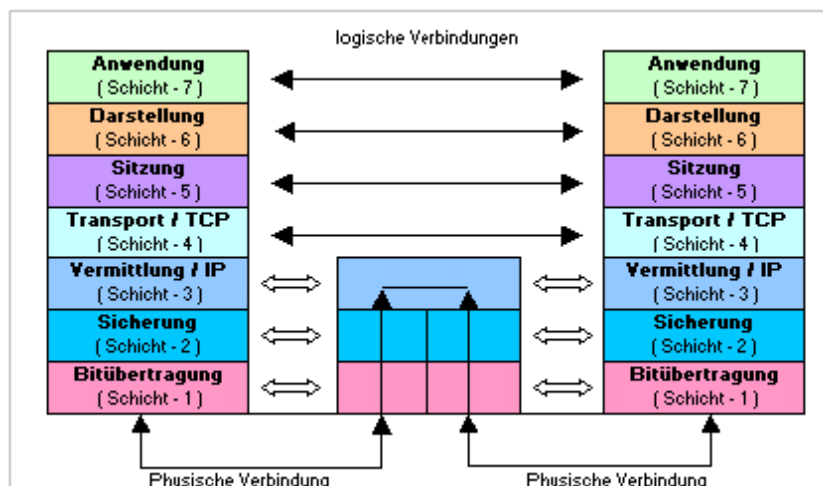


Abbildung 19: OSI-Modell

ControlNet besteht aus Physical Layer (1), Data Link Layer (2), Network (3), Transport Layer (4) und dem CIP Application Layer sowie den Netzwerkmanagement-Funktionen. Für den Datenaustausch dieser Datenpakete nutzt ControlNet das Producer/Consumer- Kommunikationsmodell. Anstelle individueller Quell- und Zieladressen enthalten die Datenpakete eine CID- Kennzeichnung (CID = Connection Identifier). Ein Producer (Erzeuger) gibt per Broadcast (Nachricht) ein Datenpaket auf die Leitung und alle am Empfang interessierten Consumer (Verbraucher) können dieses Paket gleichzeitig aufnehmen, indem sie über den CID die entsprechenden Pakete herausfiltern und die enthaltenen Daten nutzen. Dieses Modell unterstützt praktisch alle bekannten Kommunikationsbeziehungen von Master/Slave über Multi-Master bis zu Peer to Peer.

<sup>9</sup> [URL] <http://www.feldbusse.de/Controlnet/protokoll.shtml>

### **Data Link- Layer (2)**

Für den Medienzugriff benutzt ControlNet ein Verfahren namens CTDMA (Concurrent Time Domain Multiple Access). Dieses wurde speziell im Hinblick auf die Performance von I/O- Daten sowie von zeitkritischen Verriegelungssignalen entworfen, die nicht unter der zusätzlichen Übertragung anderer Nachrichten für Programmier- oder Konfigurationsanwendungen leiden darf. Dabei wird ein Zeitscheibenverfahren zugrunde gelegt: Zyklische Übertragungsintervalle können zwischen 2ms und 100ms in der so genannten NUT (Network Update Time) festgelegt werden. In jeder NUT wird zwischen zeitkritischen (zyklischen) und zeitunkritischen (azyklischen) Daten unterschieden. Der Medienzugang wird den individuellen Knoten durch ein implizites Token- Verfahren innerhalb jedes Intervalls garantiert. Es gibt bei ControlNet keinen zentralen Bus- Scheduler. Die Busverwaltung erfolgt dezentral. Alle Teilnehmer werden fortlaufend synchronisiert und wissen daher zu jedem Zeitpunkt, wann sie an der Reihe sind und wer gerade sendet. Der Token- Umlauf setzt sich jeweils bis zur höchsten konfigurierten Adresse fort und beginnt im nächsten NUT- Intervall wieder von vorn. Fällt ein Teilnehmer aus, so wartet der Knoten mit der nächst höheren Adresse einen „Time-Slot“ ab und beginnt dann seinerseits mit dem Senden. Wird der ausgefallene Teilnehmer später wieder aktiv, reiht er sich automatisch wieder in den Sendeumlauf ein, ohne dass der Netzwerkbetrieb angehalten wird. Hat eine Station nichts zu senden, schickt sie einen "Null Frame".

In der ControlNet- Konfiguration wird die Übertragungsbandbreite für zeitkritische Daten im Voraus reserviert. Dieser zyklische Dienst (Scheduled Service) ist streng deterministisch und reproduzierbar. Die dafür reservierte Zeit richtet sich nach den zu erwartenden Applikationsanforderungen. Die übrige Zeit bis zum Ende der NUT wird für den Transport zeitunkritischer und azyklischer Daten benutzt (Unscheduled Service). Anders als im zyklischen Dienst ist dieses Zeitfenster nicht bestimmten Knoten fest zugewiesen, sondern wird je nach Bedarf von beliebigen Teilnehmern genutzt. Das bedeutet, dass die Datenübertragung im azyklischen Dienst keinerlei Auswirkung auf die zyklischen Daten hat und hinsichtlich der maximalen Übertragungszeit vorhersagbar bleibt. Zum Ende einer NUT werden im „Guardband-Slot“ Synchronisationsdaten übermittelt.

Wie man sieht kann man die Network Update Time beeinflussen in dem man nicht benötigte Reserveadressen möglichst klein hält, aufgeblähte Adressierungen können hier zu Problemen führen. Dasselbe gilt übrigens auch bei Profibus.

### **Network- (3) und Transport- Layer (4)**

Bevor Daten übertragen werden, muss bei ControlNet eine virtuelle Verbindung zwischen zwei Applikationen aufgebaut werden. Eine solche virtuelle Verbindung ist über die beiden Endpunkte für den Datentransfer definiert. Spezielle Mechanismen stellen den Verbindungsaufbau über besondere (verbindungslose) Transfers sicher. Es gibt unterschiedliche Transportdienste für diese Verbindungen. Sie können applikationsabhängig und vielseitig kombiniert werden. Verbindungen können entweder "Multicast" oder "Peer to Peer" sein. Für die Initialisierung der Datenübertragung kann zwischen "zyklisch zeitgesteuert", "ereignisgesteuert" oder "applikationsgesteuert" gewählt werden. Unterschiedliche Transportklassen gewährleisten Duplikat-Erkennung, Bestätigung, Verifizierung und Fragmentierung (für lange Nachrichten).

### **Application- Layer (7)**

ControlNet Application Layer verwendet das von DeviceNet und EtherNet/IP bekannte CIP (Common Industrial Protocol). Das CIP-Protokoll ist objektorientiert. Sowohl die Kommunikations- als auch die Applikationselemente werden als "Objekte" verstanden. Spezielle "ControlNet Messages" können Dienste anfordern, die auf korrespondierende Objektinstanzen (oder deren Attribute) angewendet werden. Dieses Schema verbessert den expliziten Zugriff auf alle Konfigurations-, Status- und Runtime- Variablen in einem Netzknoten. Gleichzeitig erlauben implizite

I/O- Verbindungen einen direkten und besonders effizienten Austausch von I/O- Daten ohne zusätzliche Zwischenverarbeitung.

### 5.3.4 Bussysteme im Vergleich

Weiters noch eine Gegenüberstellung der Eigenschaften einiger Feldbusse welche oben erwähnt wurden wobei die Bussysteme Interbus, AS-Interface und CANopen ebenfalls aufgeführt sind. Diese treten in der Chemischen Industrie(Pharma) meines Wissenstandes nach nur selten bis gar nicht in Erscheinung.

	Profibus	Interbus	AS-Interface	DeviceNet	CANopen	ControlNet
<b>Anwendungsbereiche</b>	Feldebene	Feldebene	Sensor- / Aktorebene	Feldebene	Feldebene	Zellenebene
<b>Besonderheiten</b>	mehrere Varianten mit abgestufter Funktionalität: DP, DPV1, DPV2, PA	sehr schnelle, gute Diagnose	schnell, kostengünstig, ideal für rein binäre E/A-Signale	basiert auf CAN, überträgt zusätzlich 24 Volt im Buskabel	ideal für kleine Datenmengen und schnelle Synchronisation	hohe Übertragungsleistung bei gleichbleibenden Buszykluszeiten
<b>Reaktionszeiten</b>	mittel	klein	klein	mittel	mittel	klein
<b>Topologie</b>	Linie	Ring	Linie, Stern, Baum	Linie	Linie	Linie
<b>Übertragungsmedium</b>	Kabel (2-adrig, geschirmt, verdreht), Lichtwellenleiter	Kabel (5-adrig, geschirmt, verdreht), Lichtwellenleiter	Kabel (2-adrig, ungeschirmt)	Kabel (4-adrig, geschirmt, verdreht)	Kabel (4-adrig, geschirmt, verdreht)	Koaxialkabel
<b>Übertragungsverfahren (Physical Layer)</b>	RS-485, LWL oder IEC 61158-2 (MBP)	RS-485, LWL	alternierende Pulsmodulation	CAN	CAN	Modulation
<b>Übliche Anschlusstechniken</b>	Sub-D (9-polig), M12 für IP65	Sub-D (9-polig)	Schneidklemmtechnik	Klemme, Mini- und Micro-Style	Sub-D (9-polig)	BNC
<b>Max. Teilnehmerzahl</b>	126	256	62	64	127	99
<b>Max. Ausdehnung je Segment</b>	100 m (12 Mbit/s), 1.200 m (9,6 kbit/s)	zwischen 2 Geräten max. 400 m	100 m	100 m (500 kbit/s), 1.000 m (62,5 kbit/s)	100 m (500 kbit/s), 1.000 m (62,5 kbit/s)	1.000 m
<b>Energieversorgung der Teilnehmer über den Bus</b>	DP: nein PA: optional	nein	ja, 30 Volt	ja, 24 Volt	optional 24 Volt	nein
<b>Einsatz im Exbereich</b>	DP: nein PA: ja	nein	bedingt	nein	nein	nein

Tabelle 2: Feldbusdaten im Vergleich

Die Tabelle ist eine recht gute Übersicht für die grundlegenden Eigenschaften einiger Bussysteme jedoch habe ich hier einen „Fehler“ entdeckt. ProfibusDP kann nämlich auch unter gewissen Voraussetzungen im EX-Bereich betrieben werden. Hierfür sind aber zusätzliche Komponenten erforderlich um das entsprechend umsetzen zu können. Der ProfibusDP wird über spezielle Trennstufen geführt und ist somit „eigensicher“. Erkennbar ist das in der Feldebene am „blauen Buskabel“, welches anstatt des „lila“ Kabels verwendet wird. Diese Variante wird auch recht häufig umgesetzt.

### 5.3.5 Industrial Ethernet

Industrial Ethernet<sup>10</sup> ist der Oberbegriff für alle Bestrebungen, den Ethernet-Standard für die Vernetzung von Geräten, die in der industriellen Fertigung eingesetzt werden, nutzbar zu machen. In diesem Zusammenhang spricht man dann auch von einem Echtzeit-Ethernet.

Da Unternehmen üblicherweise bereits über ein Ethernet-LAN für die Vernetzung der Mitarbeiter- PCs verfügen, ist es mit Industrial Ethernet möglich, in das vorhandene LAN auch Geräte mit einzubeziehen, die für die Steuerung und Kontrolle von Produktionsprozessen benötigt werden.

Im Rahmen von Industrial Ethernet werden Switches, Hubs und Medienkonverter eingesetzt, die an industrielle Umgebungsbedingungen angepasst sind. Dazu gehören insbesondere die Befestigung auf einer 35mm-DIN-Hutschiene (Bauträgerschiene), Gleichstrom-Spannungsversorgung (in der Regel 24 V DC), eine erhöhte EMV-Störsicherheit, ein erweiterter Betriebstemperaturbereich, eine erhöhte Schutzart (Schutz gegen Staub, Spritzwasser usw.), Beständigkeit gegen diverse Medien wie Öle, Schmierstoffe und Säuren, Rüttelfestigkeit und vielfach auch besondere Vorkehrungen zur Ausfallsicherheit.

Für die hohen Echtzeitanforderungen mit isochronen Zykluszeiten liegen bei weniger als 1ms (z.B. für Motion-Control-Anwendungen) werden spezielle Protokolle definiert, die durch Hardware und spezielle Topologien unterstützt werden. Systeme wie SERCOS III, SafetyNET p, VARAN, Profinet, EtherNet/IP, Ethernet Powerlink oder EtherCAT erreichen bereits Buszyklen von rund 100µs.

Motion-Control-Anwendungen sind bei Prozessleitsystemen, besonders aber in Chemischen Industriebereich selten. Diese Anwendungen findet man meist in so genannten Packages bei denen Achssteuerungen kleinerer Antriebe eingesetzt werden (z.B. Abfüllanlagen im Pharmabereich).

Da die Netzwerkverbindung im industriellen Umfeld häufig von Maschine zu Maschine in Reihe erfolgt, werden Industrial Ethernet Netze oftmals in einem Ring realisiert. Dadurch kann ein Störfall auf maximal einen Switch beschränkt werden. Fällt eine Leitung aus, kann das Netzwerk vollständig weiterarbeiten. Die Netzwerktrennung im Ring erfolgt entweder durch Rapid Spanning Tree oder durch ein nicht standardisiertes Protokoll, das eine schnellere Reaktionszeit ermöglicht.

Potentialfreie Kontakte ermöglichen eine Einbindung ins Prozessleitsystem für schnelle Fehlererkennung. Über das Management kann ebenfalls das Netzwerk überwacht werden und eine Benachrichtigung des Bedieners erfolgen.

Trotz vieler Bemühungen hat man es nicht geschafft, einen einheitlichen Standard zu definieren, der es ermöglicht, Geräte verschiedener Systeme gemeinsam zu betreiben. Durch die höheren Bandbreiten werden Bussysteme nach EIA-485 trotz wesentlich höherer Kosten in einzelnen Anwendungen durch Industrial Ethernet ersetzt.

#### **Industrial Ethernet im Überblick**

Dass sich Industrial Ethernet<sup>11</sup> auch in der Automatisierungstechnik etabliert, bezweifelt heute niemand mehr. Die enormen technischen Fortschritte wie Fast Ethernet, Switching und Full-Duplex-Übertragung haben aus dem guten alten Ethernet ein leistungsfähiges Kommunikationssystem gemacht, das eine geradezu magische Anziehungskraft auf Anwender und Hersteller in der Industrie ausübt. Trotz aller Standardisierungsbemühungen ist es jedoch nicht gelungen, ein einheitliches Anwendungsprotokoll festzulegen, das auf die Belange der Automatisierungstechnik zugeschnitten ist.

---

<sup>10</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Ethernet](http://de.wikipedia.org/wiki/Industrial_Ethernet)

<sup>11</sup> [URL] <http://www.anybus.de/technologie/ethernet.shtml>

Das Resultat sind unterschiedliche Varianten, die untereinander meist inkompatibel sind.

Es gibt jedoch auch Gateways die Realisierung einer universellen Kommunikationsschnittstelle für diese Systeme bieten somit ist Übertragung von I/O-Daten zwischen zwei verschiedenen industriellen Netzwerken möglich.

Die verschiedenen Industrial-Ethernet-Protokolle und deren Hauptinitiatoren/Vertreter heißen: Profinet (PNO/Siemens), EtherNet/IP, (ODVA/Rockwell Automation), EtherCAT (ETG/Beckhoff), Powerlink (EPG/B&R), ModBus-TCP (ModBus-IDA/Schneider), Sercos-III (Sercos/Rexroth), Foundation Fieldbus HSE (FF, Rosemount) und FLNet (JEMA/Mitsubishi). Diese Systeme unterscheiden sich hinsichtlich der Anwendungsprotokolle und Echtzeiteigenschaften deutlich voneinander. Nachfolgend werden die Grundlagen der Systeme kurz beschrieben.

Trotz der Unterschiedlichkeiten gibt es bei allen Konzepten Gemeinsamkeiten in den unteren Ebenen des OSI-Modells. Diese umfassen die etablierten Standards der Ebenen 1-2, wie die Ethernet-Übertragungstechnik und das Buszugriffsverfahren (Layer 2). Darüber hinaus unterstützen alle Systeme industrielle IT-Funktionen wie Webserver, File-Transfer und e-Mail-Versand. Für diese IT-Funktionen werden einheitlich das Internet-Protokoll (Layer 3) sowie das TCP- und UDP-Protokoll (Layer 4) angewendet. Darüber hinaus kommen weitere Standards der IT-Welt wie das Hypertext-Transfer-Protokoll (http) und das File-Transfer-Protokoll (FTP) zum Einsatz.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen liegen in der grundlegenden Protokollarchitektur, den Anwendungsprotokollen der Layer 7, den Objektmodellen sowie den Engineering-Konzepten und Tools.

Unter dem Begriff Encapsulation wird die Einbettung einer Layer-7-Nachricht in einen TCP- oder UDP-Container vom Layer 4 verstanden. Typische Vertreter dieser Kategorie sind das von Rockwell Automation und der ODVA entwickelte EtherNet/IP, die High-Speed-Ethernet-Technologie (HSE) der Fieldbus Foundation und Modbus-TCP von Schneider Automation.

In diesen Konzepten ist gemeinsam, dass ein mehr oder weniger unverändertes Bus-Telegramm als „Nutzlast“ in einen TCP/UDP-Frame eingebettet und über Ethernet übertragen wird. Der Vorzug dieser Methode liegt darin, dass die Vorteile von Ethernet mit seiner leistungsfähigen Übertragungstechnik sich optimal mit den bewährten Eigenschaften der zugrunde liegenden Busprotokolle ergänzen. Die grundlegenden Eigenschaften und Engineering-Werkzeuge der zugrunde liegenden Busse bleiben unverändert.

Die zweite Kategorie der Ethernet-basierten Systeme ist für die Kommunikationsanforderungen von verteilten Systemen besonders gut geeignet. Hierbei wird das Anwendungsprogramm auf mehrere über Industrial Ethernet verbundene Controller aufgeteilt. Diese neue Philosophie wurde von der Fa. Jetter mit der JetWeb-Technologie erstmals eingeführt. Der Leitspruch „das Netz ist die Steuerung“ verdeutlicht das Funktionsprinzip. Die Systeme IDA und Profinet CBA zielen beide auf diese Philosophie.

Die Bestrebung Echtzeitkommunikation auf Basis der Ethernet-Übertragungstechnik zu ermöglichen wird auch verfolgt. Zu diesen Systemen zählen ProfinetIO, EthernetPowerlink, EtherCAT und SERCOS III. Alle Systeme benutzen dafür spezifische Echtzeitprotokolle und verzichten für die Echtzeitkommunikation auf die TCP/IP-Protokolle.

### EtherNet/IP

Das Industrial-Ethernet-Protokoll (EtherNet/IP) wurde von der ODVA und Rockwell Automation entwickelt.

Als Anwendungsprotokoll kommt das von DeviceNet und ControlNet bekannte "Common Industrial Protocol" (CIP) zum Einsatz. Für EtherNet/IP stehen heute bereits viele Produkte zur Verfügung. EtherNet/IP wird in vielen industriellen Anwendungen eingesetzt.

### ProfinetIO

ProfinetIO wurde von Siemens und der Profibus-Nutzerorganisation entwickelt. Es baut auf dem bewährten Funktionsmodell von ProfibusDP auf und benutzt die Fast-Ethernet-Technologie als physikalisches Übertragungsmedium. Das System ist für die schnelle Übertragung von I/O- Daten zugeschnitten und bietet zeitgleich eine Übertragungsmöglichkeit für Bedarfsdaten und Parameter sowie IT- Funktionen. Bestehendes ProfibusDP- Know-how kann weiter genutzt werden. Wie bei ProfibusDP werden die dezentralen Feldgeräte bei ProfinetIO über eine Gerätebeschreibung in das Projektierungstool eingebunden. Die Eigenschaften des Feldgerätes (ProfinetIO Device) werden ebenfalls wie bei ProfibusDP vom Gerätehersteller in einer GSD-Datei beschrieben. Die Peripheriesignale der Feldgeräte werden zyklisch den Controller oder SPS eingelesen, dort verarbeitet und anschließend an die Feldgeräte wieder ausgegeben. Bei ProfinetIO wird im Gegensatz zum Master-Slave-Verfahren von Profibus ein Provider-Consumer-Modell verwendet, das die Kommunikationsbeziehungen zwischen den gleichberechtigten Teilnehmern am Ethernet unterstützt.

### EtherCAT

EtherCAT ist eine schnelle, offene Echtzeitlösung, die von Beckhoff entwickelt wurde. EtherCAT ist auf Echtzeitverhalten hingetrimmt. So kann man zum Beispiel 1.000 verteilte I/O- Daten in nur 30µs übertragen oder 100 Achsen in 100µs synchronisieren. EtherCAT ist flexibel hinsichtlich der Installation und unterstützt sowohl Strang-Baum- oder Stern- Topologien und verzichtet auf aktive Netzwerkkomponenten wie Switches oder Hubs.

### Powerlink

Ethernet Powerlink ist eine offene Echtzeitlösung, die von B&R und der EPSG- Gruppe standardisiert wurde. Powerlink ist kompatibel zum IEEE-802.3u Standard für Fast Ethernet. Dadurch können alle IP- basierten Protokolle wie TCP, UDP und Internetprotokoll gleichzeitig mit den harten Echtzeitdaten übertragen werden.

### SERCOS-III

SERCOS-III basiert auf den bewährten Echtzeitmechanismen des aktuellen SERCOS Interface und nutzt weiterhin das Prinzip der zyklischen Übertragung mit exakt festem Zeitraster. Die hardwarebasierte Synchronisation ist die Voraussetzung für die sichere Realisierung anspruchsvoller Bewegungsaufgaben, beispielsweise elektronischer Wellen in Zeitungsdruckmaschinen, Verpackungsmaschinen oder mehrachsigen Werkzeugmaschinen.

### FLNet

FLNet (OPCN-2) ist das Ergebnis einer Standardisierungsinitiative der japanischen JEMA (Japan Electrical Manufacturers Association) unter Federführung von Mitsubishi. FLNet ist ein Ethernet-basierter Standard für die Kommunikation von intelligenten Controllern (SPS'n) untereinander.

Wie man sieht sind diverse Weiterentwicklungen getätigt worden, spezialisiert man sich auf einen Hersteller ist auch die Verwendungen seines favorisierten Industrial Ethernet System sinnvoll. Will man über sein Ethernet System keine I/O- Daten versenden kann man die Vorteile von Industrial Ethernet ohne der Spezialisierungen nützen und so seine Netzwerksicherheit verbessern.

### 5.3.6 OPC

Zum Thema OPC<sup>12</sup> möchte ich hier noch eine kurze Beschreibung anfügen, da dies bisher noch nicht beschrieben wurde dieses System aber in irgendeiner Weise bei fast jedem Prozessleitsystem zur Anwendung kommt.

**OLE for Process Control (OPC)** war der ursprüngliche Name für standardisierte Software-Schnittstellen, die den Datenaustausch zwischen Anwendungen unterschiedlichster Hersteller in der Automatisierungstechnik ermöglichen. Durch die fortschreitende Weiterentwicklung dieser Schnittstellen und der damit einhergehenden Abnahme der Relevanz des OLE-Objektsystems wird heute lediglich die Bezeichnung OPC, ohne auf eine Abkürzung hinzuweisen, genutzt.

- Entstehung

OPC ist der Versuch, industriellen Bussystemen und Protokollen eine universelle Möglichkeit zur Verständigung zu geben. Geschaffen wurde der Standard von der OPC Task Force, einem Zusammenschluss verschiedener großer Firmen der Automatisierungsindustrie wie Fisher-Rosemount, Intellution und Siemens, nachdem man erkannt hatte, welchen Aufwand die Anpassung der zahlreichen Herstellerstandards auf individuelle Steuerungs- und Überwachungs-Infrastrukturen verursacht hatte.

Kurz nach der Veröffentlichung der OPC Specification Version 1.0 im August 1996 wurde die OPC Foundation gegründet, die bis heute zuständig ist für die Pflege und Verbreitung des Standards.

Heute ist OPC der Standard zur herstellerunabhängigen Kommunikation in der Automatisierungstechnik. Die Zertifizierungssoftware OPC Compliance Test, welche den OPC-Mitgliedern kostenlos zur Verfügung gestellt wird, stellt die Kompatibilität sicher. Die Hersteller von OPC-Servern können damit ihre Server schon während der Entwicklung testen. Diese Software testet die vollständige OPC-Funktionalität, simuliert Fehlverhalten eines Clients und überprüft alle Fehlercodes. Zusätzlich werden noch logische Tests, Stress- und Performance-Tests durchgeführt. Diese Testreihe deckt mehr Tests ab, als man mit einem normalen Client erreicht. Nach bestandenen Test können die Hersteller die Ergebnisse an die OPC Foundation senden und erhalten das Zertifikat „Compliance Tested“. Es ist zu empfehlen, nur Server zu kaufen, die dieses Zertifikat besitzen.

- Einsatzgebiet

OPC wird dort eingesetzt, wo Sensoren, Regler und Steuerungen verschiedener Hersteller ein gemeinsames, flexibles Netzwerk bilden. Ohne OPC benötigen zwei Geräte zum Datenaustausch genaue Kenntnis über die Kommunikationsmöglichkeiten des Gegenübers. Erweiterungen und Austausch gestalten sich entsprechend schwierig. Mit OPC genügt es, für jedes Gerät genau einmal einen OPC-konformen Treiber zu schreiben. Idealerweise wird dieser bereits vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Ein OPC-Treiber lässt sich ohne großen Anpassungsaufwand in beliebig große Steuer- und Überwachungssysteme integrieren.

OPC unterteilt sich in verschiedene Unterstandards, die für die jeweilige Anwendung unabhängig voneinander implementiert werden können. OPC lässt sich damit verwenden für Echtzeitdaten (Überwachung), Datenarchivierung, Alarm-Meldungen und neuerdings auch direkt zur Steuerung (Befehlsübermittlung).

---

<sup>12</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/OLE\\_for\\_Process\\_Control](http://de.wikipedia.org/wiki/OLE_for_Process_Control)



## 6 Programmiersprachen

Hier kommen natürlich auch je Prozessleitsystem und der Philosophie der Hersteller verschiedene Programmiersprachen zur Anwendung. Generell sind je Prozessleitsystem auch meist mehrere Arten zur Programmierung verfügbar das heißt in erster Linie das es dem Anwender/Programmierer möglich ist zu Entscheiden womit er sein Programm realisiert. Für jede Anwendung gibt es somit meist verschiedene Möglichkeiten zur Realisierung.

### 6.1 EN 61131-3

Die EN 61131-3<sup>13</sup> (auch IEC 1131 bzw. 61131) ist die einzig weltweit gültige Norm für Programmiersprachen von speicherprogrammierbaren Steuerungen. Sie definiert die folgenden fünf Sprachen:

Englisch		Deutsch		
Abk.	Bezeichnung	Abk.	Bezeichnung	Hinweise
IL	Instruction List	AWL	Anweisungsliste	Vergleichbar mit Assembler
LD	Ladder Diagram	KOP	Kontaktplan	Vergleichbar mit einem Elektro-Schaltplan der um 90° gedreht ist
FBD	Function Block Diagram	FBS	Funktionsbaustein-Sprache	Teilweise (insbesondere bei Siemens STEP 7) auch als FUP (Funktionsplan) bekannt. Ähnelt Logik-Schaltplänen
SFC	Sequential Function Chart	AS	Ablaufsprache	eine Art Zustandsdiagramm, bei STEP7 als S7 GRAPH bekannt. Die IEC 61131-3:2003 sieht den SFC als eine Weiterentwicklung von Grafcet nach EN 60848.
ST	Structured Text	ST	Strukturierter Text	angelehnt an Hochsprachen, bei STEP 7 als SCL (Structured Control Language) bezeichnet.

*Tabelle 3: Programmiersprachen nach EN 61131-3*

Die Sprachen IL und ST sind textbasiert, die anderen vier Sprachen (LD, FBD, SFC und CFC) grafisch. In allen Sprachen können Funktionen und Funktionsblöcke verwendet werden, die in einer der anderen Sprachen geschrieben oder vom SPS-Hersteller in Form von Software-Bibliotheken ohne Quelltext zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Leistungsfähigkeit der SPS bzw. des Programmiergeräts müssen nicht alle Sprachen zur Verfügung stehen. Die Umwandlung zwischen Sprachen ist herstellerabhängig; also nicht oder nur mit Einschränkungen möglich. Viele Programmierungsumgebungen bieten auch die Möglichkeit, weitere Sprachen wie z. B. C zu verwenden.

<sup>13</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/EN\\_61131#Teil\\_3:\\_Programmiersprachen\\_.28EN\\_61131-3:2003.29](http://de.wikipedia.org/wiki/EN_61131#Teil_3:_Programmiersprachen_.28EN_61131-3:2003.29)



## 6.2 Continuous Function Chart

Eine weitere Programmiersprache ist der Continuous Function Chart<sup>14</sup> (CFC), welche beispielsweise bei Emerson mit dem Prozessleitsystem DeltaV große Anwendung findet.

Der Continuous Function Chart ist eine Programmiersprache für Speicherprogrammierbarer Steuerungen. Obwohl sie keine der in der IEC 61131-3-Norm definierten Sprachen ist, stellt sie eine gängige Erweiterung von IEC-Programmierungsumgebungen dar.

Ihr Hauptanwendungsgebiet liegt vor allem in der Prozessleittechnik, weil sich die dort auftretenden, komplexen Steuerungs- und Regelungsaufgaben sehr gut in CFC abbilden lassen.

## 6.3 Erweiterte Beschreibungen - Kurzbeispiele

Die folgenden Beispiele sind sehr einfach gewählt und dienen lediglich dazu sich einen groben Überblick über die Darstellung machen zu können. Je Prozessleitsystem kommen andere Programmiersprachen zur Anwendung womit das Anwendungsprogramm realisiert werden kann.

Auf die Programmierung in der Ablaufsprache und im Continuous Function Chart gehe ich etwas genauer ein, weil diese aus meiner Sicht die übersichtlichsten Varianten der Programmierung von Prozessleitsystemen in der Chemischen Industrie sind.

### Beispiel Anweisungsliste:

```
U      E 0.0
U      E 0.1
=      A 1.0
```

Die Hauptnutzer dieser Art der Programmierung sind vor allem die Siemenssysteme und daher kommt die Anweisungsliste meist hier zur Anwendung. Es wurden daher auch die Befehlsoperationen dementsprechend übernommen.

### Beispiel Kontaktplan:

```
      E 0.0 E 0.1 A 1.0
|-----[ ]-----[ ]-----()---|
```

Diese Art der Programmierung kommt vor allem bei Rockwell Automation zur Anwendung die diese als ihre Standardprogrammiersprache ansehen.

### Beispiel Funktionsbausteinsprache:

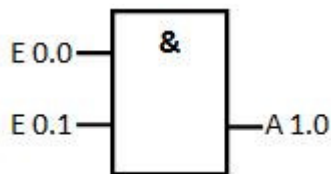


Abbildung 20: Beispiel Funktionsbaustein

### Beispiel Strukturierter Text:

```
IF E 0.0 = 1 AND E 0.1 = 1 THEN
    A 1.0 := 1
```

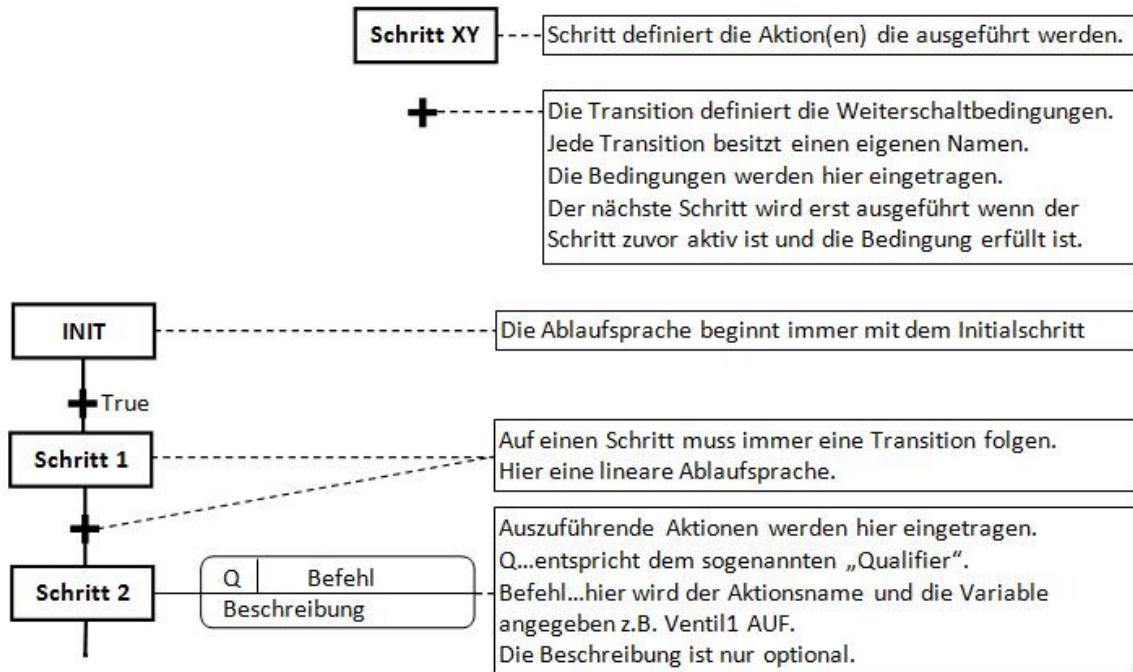
Alle bisherigen Programmier Beispiele haben trotz ihrer verschiedenen Darstellung dieselbe Funktion.

---

<sup>14</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Continuous\\_Function\\_Chart](http://de.wikipedia.org/wiki/Continuous_Function_Chart)

### Beispiel Ablaufsprache:

Die Ablaufsprache besteht aus Schritten und Weberschaltbedingungen (Transitionen) welche fast frei angeordnet werden können. Die folgenden Darstellungen zeigen die Grundmodelle vereinfacht dargestellt daher wurden bei den meisten Transitionen auch keine Namen angegeben.



### Die Übersicht der „Qualifier“

N	Non stored (Nicht gespeichert)	Die Aktion ist solange aktiv wie der Schritt
S	Set (Stored, gespeichert)	Die Aktion wird aktiviert und bleibt bis zu einem Reset aktiv
R	Overriding Reset (zurückgesetzt)	Die Aktion wird deaktiviert
L	Time Limited (zeitbegrenzt)	Die Aktion wird für eine bestimmte Zeit aktiviert, maximal solange der Schritt aktiv ist
D	Time Delayed (zeitverzögert)	Die Aktion wird nach einer bestimmten Zeit aktiv, sofern der Schritt noch aktiv ist und dann solange der Schritt aktiv ist
P	Pulse (Impuls)	Die Aktion wird genau einmal ausgeführt, wenn der Schritt aktiv wird
SD	Stored and Time Delayed (gespeichert und verzögert)	Die Aktion wird nach einer bestimmten Zeit aktiviert und bleibt bis zu einem Reset aktiv
SL	Stored and Limited (gespeichert und zeitbegrenzt)	Die Aktion ist für eine bestimmte Zeit aktiviert
DS	Delayed and Stored (verzögert und gespeichert)	Die Aktion wird nach einer bestimmten Zeit aktiviert, sofern der Schritt noch aktiv ist und bleibt bis zu einem Reset aktiv

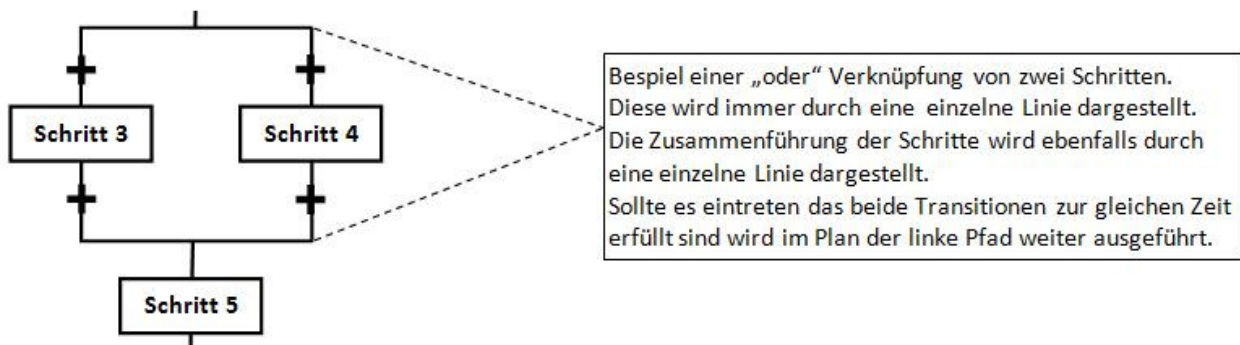


Abbildung 21: CFC- Funktionen und Qualifier

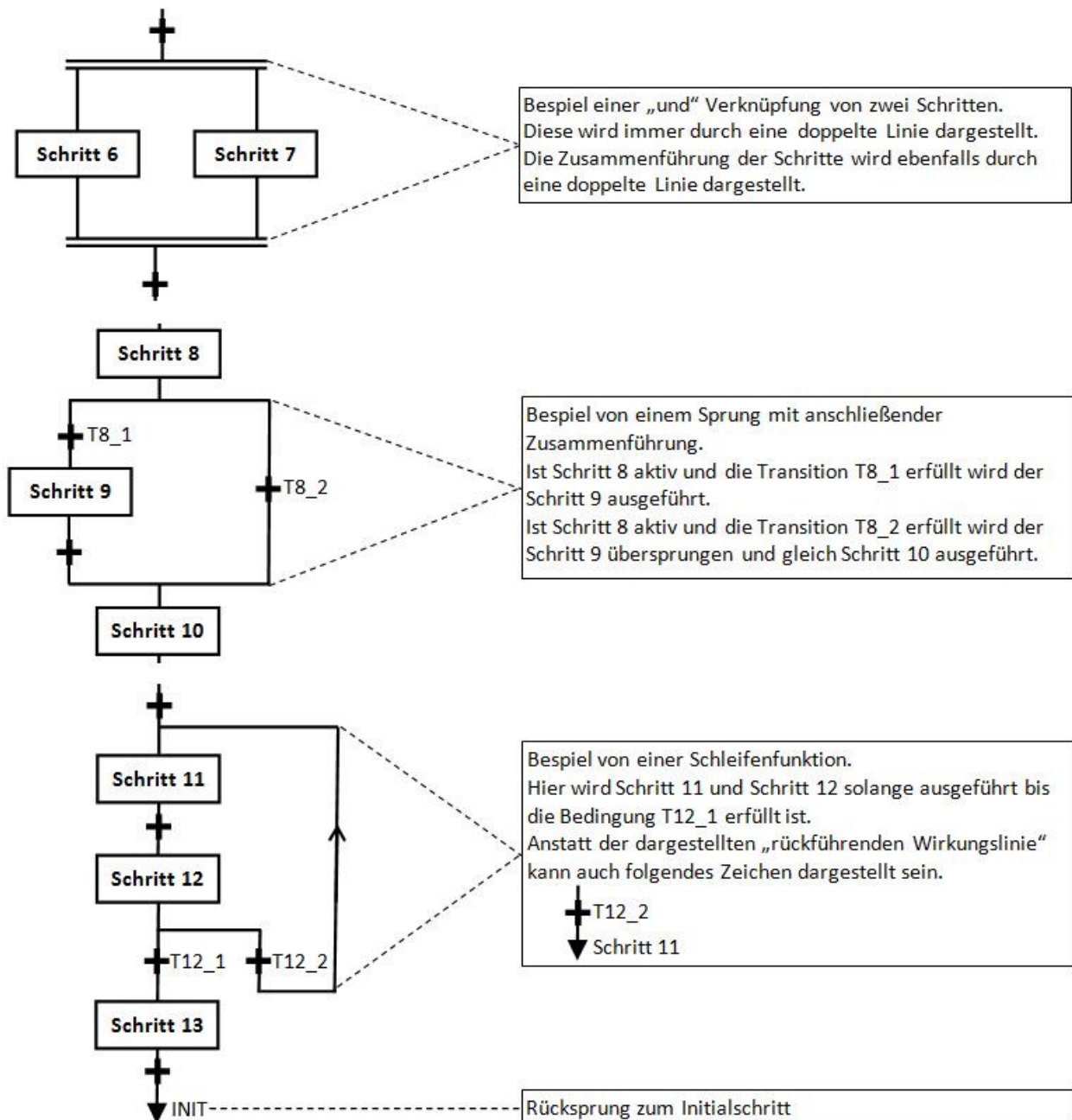


Abbildung 22: CFC- Funktionen und Qualifier

### **Beispiel Continuous Function Chart:**

Der Continuous Function Chart arbeitet ähnlich wie die Funktionsbausteinsprache. Auch hier wird objektorientiert programmiert. Im Gegensatz zur Funktionsbausteinsprache ist der Continuous Function Chart aber nicht netzwerkbasiert. Die Programmierung wird graphisch frei erarbeitet, es können die Bausteine beliebig auf einem „Blatt“ platziert werden. Ebenfalls muss die Verschaltung der einzelnen Bausteine selbstständig gemacht werden. Eingänge, Ausgänge und Rückkopplungen müssen auch vom Programmierer separat verschalten werden.

Die verschiedenen Bausteine werden aus einer Baustein- Bibliothek entnommen und anschließend verschalten. Ebenfalls muss die Reihenfolge für die Abarbeitung der Bausteine definiert werden. Dies wird durch die Nummerierung an den einzelnen Bausteinen symbolisiert.

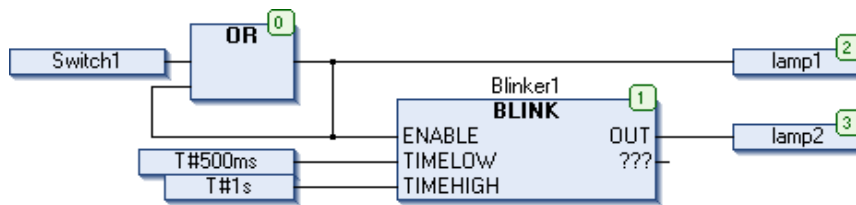


Abbildung 23: CFC-Plan nach CoDeSys

Dieses einfache Beispiel eines CFC Plans aus dem CoDeSys CFC Editor zeigt die Ausführung eines Blinkers. Die Nummerierung im rechten oberen Eck symbolisiert die Abarbeitungsreihenfolge der Bausteine.

Der Kontakt „Switch1“ stellt einen Eingang dar, die Kontakte „lamp1“ und „lamp2“ hingegen 2 Ausgänge.

Generell werden Eingänge gerne auf der linken Seite des Continuous Function Charts dargestellt. Die Ausgänge hingegen auf der rechten Seite. Dies ermöglicht eine sehr gute Lesbarkeit und Übersicht auf dem Plan. Die Ein- und Ausgangsparameter können wie im Bild des CFC Plans von oben dargestellt werden, dies wird bei Systemen von Rockwell Automation (ControlLogix) und Emerson (DeltaV) in der gleichen Art und Weise dargestellt. Bei den Continuous Function Chart bei Siemens (PCS7) werden hingegen die Ein- und Ausgangsparameter fix im linken bzw. rechten Rand des CFC-Plans angezeigt.

Im nächsten Beispielbild ist diese Darstellung der Eingangsparameter anhand einer Zeitsynchronisation aus der Hilfe der Siemens PCS7.

Externe Eingangsparameter sind hier dargestellt.

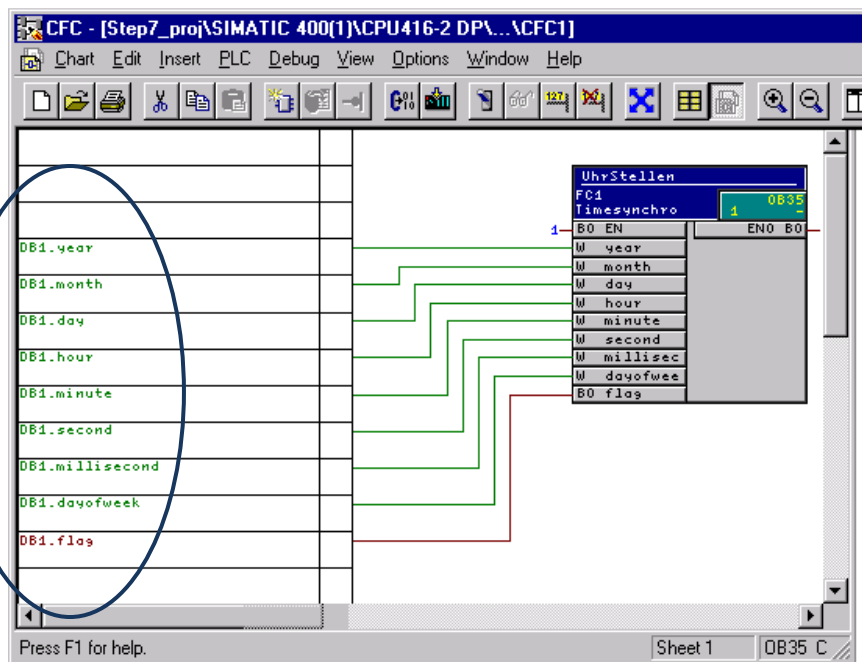


Abbildung 24: CFC Plan nach Siemens

Zur Programmierung mit dem Continuous Function Chart kann ich generell sagen, dass dieser sehr übersichtlich und auch recht einfach zu handhaben ist. Es sind aber je Prozessleitsystem immer Unterschiede vorhanden welche beachtet werden müssen. Das liegt alleine schon an der Vielfalt der CFC-Bausteine, welche in jeder Bibliothek eigens mitgeliefert werden.

Ein gutes Beispiel ist noch beim Prozessleitsystem von Emerson (DeltaV) der „Condition-“ oder der „Calc-“ Baustein. Deren eigene Abarbeitung und Funktion kann obwohl diese sich in einem Continuous Function Chart Plan befinden frei im „Strukturierten Text“ programmiert werden. Das stellt somit eine Mischform zweier eigentlich eigenständigen Programmiersprachen dar.

## 7 Rezepturen

Bei der Verwendung von Rezepturen für den automatisierten Ablauf werden zusätzliche Softwarekomponenten in einem Prozessleitsystem eingesetzt diese müssen beim Hersteller erworben werden. Diese Komponente wird als Batch-System oder „Batch Control“ bezeichnet und ist bei allen Herstellern ähnlich da dieses System auch einer Norm (ANSI/ISA-88) unterliegt. Die Verwendung eines Batch-Systems sollte aber bereits bei der Projektierung des Prozessleitsystems berücksichtigt werden, da die Programmierung der Anlage darauf angepasst werden muss. Vom Batch-System werden Funktionen gestartet und beendet, des Weiteren werden hier meist für die diversen programmierten Funktionen verschiedene Fahrweisenbefehle und Parameter an den Controller übergeben. Im Betrieb einer größeren Anlage ist ein Batch-System ein mächtiger und wichtiger Bestandteil der heute nicht mehr wegzudenken ist und für die gleichbleibende Qualität des Endproduktes eine sehr große Rolle spielt. Der Zusatzaufwand für den Aufbau eines Batch-Systems rechnet sich im Vergleich mit den dadurch gewonnenen Vorteilen eigentlich immer. Weiters ist es für den Bediener der Anlage auch ein sehr komfortables Werkzeug.

### 7.1 ANSI/ISA-88

ANSI/ISA-88<sup>15</sup> ist eine Norm für die chargenorientierte Fahrweise (Batch Control), die häufig als S88 oder SP88 bezeichnet wird. Sie ist eine Designphilosophie für Software, Ausrüstung und den Verfahrensablauf. Teil 1 wurde 1995 durch ISA freigegeben. ISA-88 wurde durch die IEC als IEC 61512 übernommen.

Gegenwärtig enthält die ISA-88 Chargenorientierte Fahrweise folgende Teile:

- Teil 1: Modelle und Terminologie (1995)
- Teil 2: Datenstrukturen und Leitfaden für Sprachen (2001)
- Teil 3: Modelle und Darstellungen von Verfahrens- und Werksrezepten (2003)
- Teil 4: Batch Produktion Records (2006)

ISA-88 bietet konsistente Standards und Terminologie für die chargenorientierte Fahrweise und definiert das physische Modell, Prozeduren und Rezepte. Die Norm wollte folgende Probleme angehen: fehlen eines universellen Modells für den Batchbetrieb, Kommunikationsschwierigkeiten bei Anwenderanforderungen, Integration von Batch-Automatisierungslösungen verschiedener Lieferanten und Schwierigkeiten bei der Konfiguration von Batch-Anwendungen.

Die ISA-88.01 ist eine Norm, welche die Chargenfertigung anhand der folgenden hierarchischen Modellen beschreibt:

- Prozessmodell (Process Model – Equipment and Recipes)
- Physisches Modell (Physical Model – Equipment)
- Prozedurales Kontrollmodell (Procedural Control Model – Recipes)
- Kontroll-, Aktivitätsmodell (Control Activity Model – Equipment And Recipes)
- Rezepten (Recipe)

ISA-88.01 hieß anfangs ISA S88 und wurde im Jahre 1997 als IEC 61512-1 übernommen.

---

<sup>15</sup> [URL] <http://de.wikipedia.org/wiki/ISA-88>



## Modell

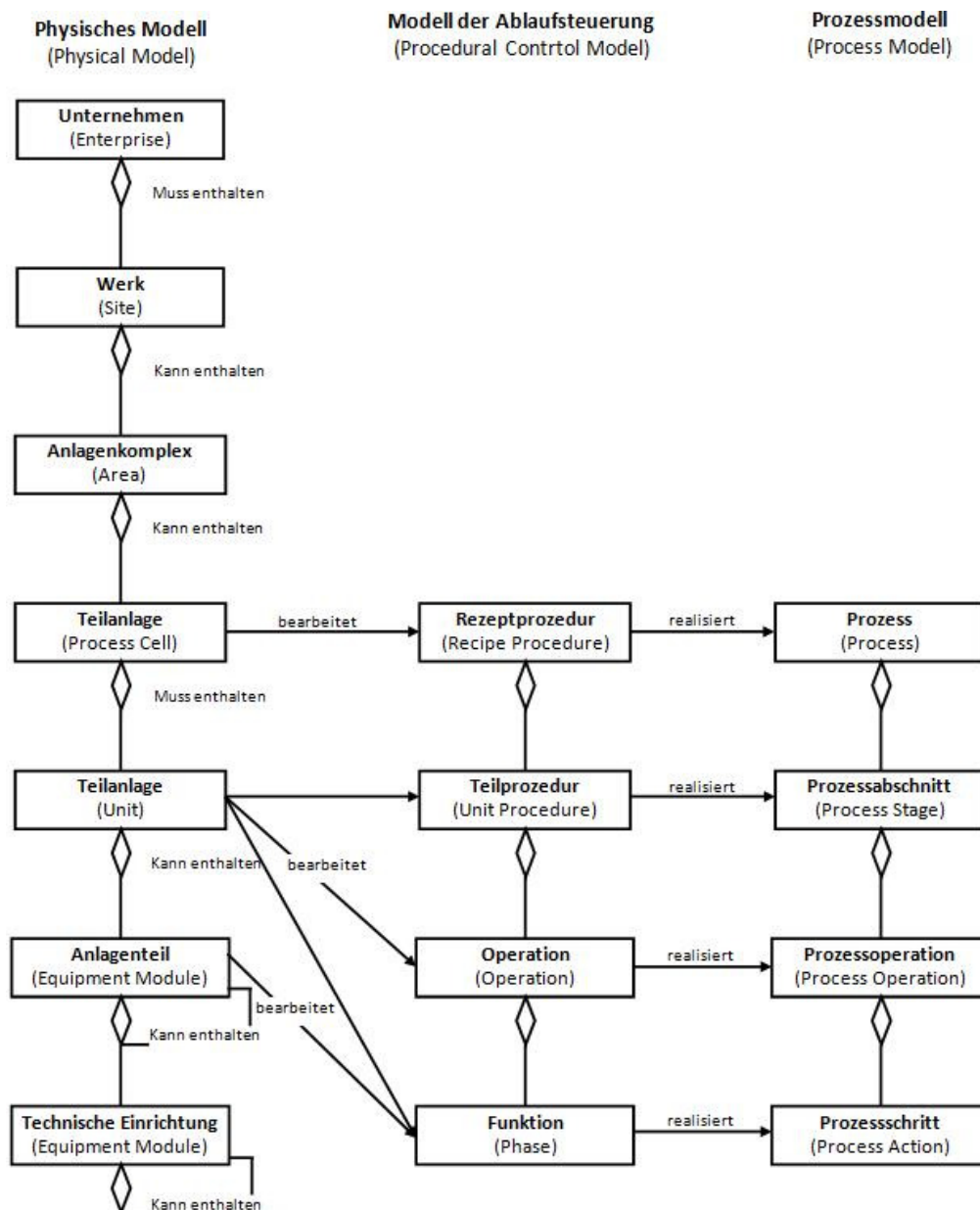


Abbildung 25: ANSI/ISA-88 Modell

## Prozessmodell

Die Norm definiert ein Prozessmodell (process model) das einen Prozess (process) enthält, welcher aus einer geordneten Menge von Prozessabschnitten (process stages) besteht, welche aus einer geordneten Menge von Prozessoperationen (process operations) bestehen, welche aus einer geordneten Menge von Prozessschritten (process actions) bestehen.

## Physisches Modell

Das Physische Modell setzt sich hierarchisch aus den folgenden Schichten zusammen:

Das Physische Modell (physical model) beginnt mit dem Unternehmen (enterprise), welches ein Werk (site) enthalten muss, welches Anlagenkomplexe (areas) enthalten kann, welche Anlagen (process cells) enthalten können, welche eine Teilanlage (unit) enthalten muss, die Technische Einrichtung (equipment modules) enthalten können, die Einzelsteuerung (control modules) enthalten können.

### **Modell der Ablaufsteuerung**

Das Modell der Ablaufsteuerung (procedural control model) besteht aus Rezeptprozeduren (recipe procedures), bestehend aus einer geordneten Menge von Teilprozedur (unit procedures), bestehend aus einer geordneten Menge von Operation (operations), bestehend aus einer geordneten Menge von Funktion (phases). Einige Ebenen können entfallen.

### **Rezepte**

Es gibt folgende Rezepttypen:

- Verfahrensrezept (general recipe): generelles Rezept für das gesamte Unternehmen
- Werksrezept (site recipe): Rezept für den Standort
- Grundrezept (master recipe) hängt von den Einrichtungen (Equipment) des Werks ab
- Steuerrezept (control recipe).

Der Rezeptinhalt besteht aus:

- Rezeptkopf (header)
- Stoff- und Produktionsdaten (formula)
- Geräteanforderungen (equipment requirements)
- Rezeptprozedur (procedure)
- sonstigen Informationen die für die Rezeptausführung benötigt werden.

### **Weitere Modelle und Funktionen**

Neben strukturellen Definitionen und Modellen zur Chargensteuerung bietet ISA-88 auch Funktionen und Modelle zu:

- Steuerungsaktivitäten (Control Activities)
- Rezeptverwaltung (Recipe Management)
- Produktionsplanung und Disposition (Production Planning and Scheduling)
- Produktionsinformationsverwaltung (Production Information Management)
- Prozesslenkung (Process Management)
- Teilanlagenüberwachung (Unit Supervision)
- Prozesssteuerung (Process Control)

## **7.2 Rezepterstellung und Darstellung**

Die Rezepterstellung das heißt die Anordnung erfolgt objektorientiert, auch die spätere Darstellung der Rezepte für den Bediener wird dementsprechend angezeigt.

Ähnlichkeiten in der Darstellung sind hier mit der Programmierung der Ablaufsprache gegeben.

Auch hier gibt es Schritte und Transitionen (Weiterschaltbedingungen) lediglich den Rücksprung zum Start oder INIT Schritt gibt es hier nicht mehr. Hier kommt eine wirkliche Endbedingung zum Einsatz welche den Batch beendet. Es sind aber auch hier „Und-“, „Oder-“, Sprung-“ und „Schleifen-“ Funktionen möglich.

Aufgrund dieser Tatsache kann man sich gut die Vorteile vorstellen wenn man eine Programmierung der einzelnen Funktionen in der Ablaufsprache etabliert.

Grundsätzlich werden hier auch immer Rezepte, Teilrezepte und Grundoperationen unterschieden.

Rezepte werden durch Teilrezepte gebildet, Teilrezepte wiederum durch Grundoperationen und in den Grundoperationen sind die verschiedenen Grundfunktionen/Abläufe abgebildet und angeordnet.

## 8 Auswahl eines Prozessleitsystems

### 8.1 Umgebungskonditionen

Für die Auswahl eines geeigneten Prozessleitsystems sind vor allem die Umgebungskonditionen ausschlaggebend. Aus der Erfahrung ist der Großteil aller Komponenten für einen Einsatz von ca. 0°C – 55°C Umgebungstemperatur geeignet, für die Feuchte ist meist ein Bereich von 20% r.F. – 80% r.F. zulässig.

Daher stellt die Feuchte in den Einsatzgebieten der Prozessleitsystemkomponenten fast nie Probleme dar, weil sich diese in der Chemischen Industrie (Pharma) zum Großteil in kontrollierten und durch eigene Lüftungssysteme geregelten Räumen befinden. Weiters ist aus diesem Grund auch die Temperatur zumeist auch nicht ein Problem, Ausnahmen können hier jedoch Anlagenteile wie Dampfsysteme sein, diese müssen dann separat betrachtet werden. Der wirklich gravierende Punkt der Umgebungskonditionen ist im Bereich der Chemischen Industrie ist die Gefährdung durch entzündliche Stoffe und auch explosionsfähige Atmosphären. Diese entstehen aufgrund der eingesetzten Medien wie Lösungsmittel oder auch pulverförmige Stoffe. Der Explosionsschutz ist ein komplexes und sich ständig weiterentwickelndes Thema und unterliegt somit immer einigen Veränderungen. Weiters gibt es hierzu einiges an Richtlinien und Forderungen die für eine Errichtung und Betrieb zu erfüllen sind.

Nachfolgend ein kurzer Auszug aus der meiner Sicht grundlegendsten Punkten für den Explosionsschutz.

#### 8.1.1 EG-Richtlinie 99/92/EG (ATEX 137) <sup>16</sup>

Die Richtlinie 99/92/EG »Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können« betrifft den Betrieb explosionsgefährdeter Anlagen, richtet sich somit an den Betreiber (Arbeitgeber). Dieser hat gemäß dieser Richtlinie 99/92/EG die Explosionsgefahr der Anlage zu beurteilen, die Anlage in Gefahrzonen einzuteilen und im Explosionsschutzdokument alle Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu dokumentieren:

#### **Beurteilung der Explosionsrisiken**

Bei der Beurteilung der Explosionsrisiken ist zu berücksichtigen:

- Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre
- Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins, der Aktivierung und des Wirksamwerdens von Zündquellen
- Die verwendeten Stoffe, Verfahren und deren mögliche Wechselwirkung
- Das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkung von Explosionen

---

<sup>16</sup> [URL] <http://www.stahl.de/produkte-und-systeme/was-ist-explosionsschutz/explosionsschutz-rechtsgrundlagen-und-normen/europaeische-union.html>



### **Zoneneinteilung**

Der Betreiber hat die Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphäre vorhanden sein kann, in Zonen einzuteilen und die Einhaltung, der in der Richtlinie geforderten Mindestvorschriften organisatorischer und technischer Art, zu gewährleisten.

#### **Zone 0**

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

#### **Zone 1**

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.

#### **Zone 2**

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährlich explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

#### **Zone 20**

ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

#### **Zone 21**

ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub bilden kann.

#### **Zone 22**

ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

### **Explosionsschutzdokument**

Es ist ein Explosionsschutzdokument zu erstellen, das mindestens Angaben enthält zu

- der Gefährdungsbeurteilung
- den getroffenen Schutzmaßnahmen
- der Zoneneinteilung
- der Einhaltung der Mindestvorschriften:

Diese teilen sich in organisatorische (z.B. Unterweisung der Arbeitnehmer) und technische Maßnahmen (Explosionsschutzmaßnahmen) auf.

Aus diesen Angaben sind die Mindestanforderungen für die Komponenten im jeweiligen Bereich abzuleiten und umzusetzen. Daher ist es mitunter nötig zusätzliche technische Komponenten einzubauen (Trennbarrieren oder dgl.) um das geforderte Niveau zu erreichen.

Der wichtigste Punkt um eine Explosion bei einer vorhandener „EX-Atmosphäre“ zu verhindern ist es eine mögliche Zündquelle zu unterbinden. Da es sich bei Prozessleitsystemkomponenten um elektrische Komponenten handelt habe ich die aus meiner Sicht wichtigste Zündschutzart ausgewählt um diese etwas näher zu beschreiben.

### 8.1.2 Eigensicherheit "i"<sup>17</sup>

#### **Technische Details**

Einsatz:	In gasexplosionsgefährdete Bereiche und Bereiche mit brennbarem Staub
Normen:	IEC 60079-11, EN 60079-11 (DIN/VDE 0170-7) IEC 61241-11, EN 61241-11 (DIN/VDE 0170-15-11)
Symbole:	ia für Zone 0 oder Zone 20 (für Zone 20 auch iaD) ib für Zone 1 oder Zone 21 (für Zone 21 auch ibD) ic für Zone 2  Für Bereiche mit brennbarem Staub sind nach IEC 61241-11 bzw. EN 61241-11 die Symbole iaD und ibD zu verwenden. Mit dem Zusammenführen der Normenreihen 60079 und 61241 werden diese Symbole durch ia bzw. ib ersetzt.

#### **Allgemein**

Zündschutzart, bei der die Betriebsmittel eigensichere Stromkreise enthalten. Ein Stromkreis ist eigensicher, in dem weder ein Funke noch ein thermischer Effekt unter den in dieser Norm festgelegten Bedingungen auftritt, die den ungestörten Betrieb und bestimmte Fehlerbedingungen umfassen, eine Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.

#### **Abweichende Anforderungen in Bereichen mit brennbarem Staub**

- zusätzliches Gehäuse in der Schutzart IP 6X, wenn abgelagerter Staub zu einem Problem werden kann
- Der Stromkreis muss mindestens nach der Explosionsgruppe IIB ausgelegt werden.

#### **Funktion**

Bei der Zündschutzart Eigensicherheit wird die Tatsache genutzt, dass zur Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre eine bestimmte Energie erforderlich ist. Wird verhindert, dass in einem Stromkreis bestimmte Strom- und Spannungswerte überschritten werden und die Speicherung elektrischer Energie in Spulen oder Kondensatoren begrenzt ist, so dass weder durch einen Öffnungs- oder Schließfunken noch durch thermische Wirkung eine Zündung unter bestimmten Prüfbedingungen und unter Beachtung bestimmter Sicherheitszuschläge hervorgerufen wird, so ist dieser Stromkreis eigensicher. Die Zündschutzart Eigensicherheit bietet sich daher vor allem dort an, wo von Natur aus kleine Leistungen erforderlich sind, in der Mess- und Regeltechnik und in der Informationstechnik.

#### **Eigensichere elektrische Betriebsmittel**

Ein elektrisches Betriebsmittel ist eigensicher, wenn alle Stromkreise des Betriebsmittels eigensicher sind. Einfache elektrische Betriebsmittel, die eigensicher sind, müssen keiner Baumusterprüfung unterzogen werden. Jedoch muss der Hersteller gewährleisten, dass die zutreffenden Anforderungen der EN 60079-11 eingehalten sind.

Einfache Betriebsmittel sind

- passive Betriebsmittel ohne eigene Energiequelle, wie Schalter, Verteilerkasten, Potentiometer,
- Energiespeicher mit genau festgelegten Kennwerten wie Kondensatoren oder Spulen,
- Energiequellen, die nicht mehr als 1,5 V, 100 mA oder 25 mW erzeugen, wie Thermoelemente und Fotozellen.

Für Geräte mit Kategorie 1, die in der Zone 0 montiert und installiert werden, gilt die Ausnahme von der Bescheinigungspflicht nicht.

---

<sup>17</sup>[URL] <http://www.stahl.de/produkte-und-systeme/was-ist-explosionsschutz/technische-grundlagen/zuendschutzarten/elektrische-geraete/eigensicherheit.html>

Betriebsmittel, die zwar keine eigene Spannungsquelle besitzen, die aber magnetische, elektrische oder thermische Energie speichern können, sind kritisch zu betrachten. Dazu sind z.B. zu zählen: Messgeräte, Fühler von induktiven Näherungsschaltern, Lautsprecher, Entstörfilter und kapazitive Sonden. Wenn das elektrische und/oder thermische Verhalten nicht eindeutig bekannt ist, so ist eine Prüfung durch die Prüfstelle notwendig. Komplexe passive Betriebsmittel, wie Transmitter, Lichtschranken mit integriertem Verstärker usw., sind in ihrem elektrischen und thermischen Verhalten nicht einfach zu überschauen. Diese Betriebsmittel benötigen deshalb immer eine Baumusterprüfbescheinigung.

### **Zugehörige Betriebsmittel**

Dies sind Betriebsmittel mit eigensicheren und nicht eigensicheren Stromkreisen, z.B. Netzgeräte, Registriergeräte mit elektromotorischem Papiervorschub, Relais mit eigensicherem Erregerkreis, Messumformer mit Hilfsenergie, Messverstärker, Trennstufen und Sicherheitsbarrieren. Die eigensicheren Stromkreise dieser Betriebsmittel müssen entsprechend den Baubestimmungen in Bezug auf ihre Fremdspannungsbeeinflussung durch die nicht eigensicheren Stromkreise und bezüglich der Höhe von Spannungs- und Stromwerten vor ihrem Einsatz geprüft und bescheinigt sein.

Betriebsmittel mit eigensicheren und nicht eigensicheren Stromkreisen dürfen, wenn nicht eine weitere Zündschutzart angewandt wird, nur im nicht gefährdeten Bereich errichtet werden.

Von drei Bauteilen bzw. Baugruppen hängt die Aufrechterhaltung der Eigensicherheit ab.

Der Transformator muss die galvanische Trennung eines eigensicheren Stromkreises vom nicht eigensicheren Stromkreis sicherstellen.

Die Strombegrenzung muss bezüglich Ausführung und Belastung bestimmte Anforderungen erfüllen.

Die Baugruppe, welche die Spannung im eigensicheren Stromkreis begrenzt.

### **Schutzniveau ia, ib, ic**

Die Sicherheit eines eigensicheren Stromkreises hängt von den verwendeten Bauelementen und deren Störanfälligkeit ab. Man unterscheidet nichtstöranfällige Bauelemente, wie z.B. Relais und Schichtwiderstände und Transformatoren, die die Baubestimmungen nach EN 60079-11 erfüllen und störanfällige Bauelemente wie Halbleiter und Kondensatoren. Bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit des Gesamtgerätes unterscheidet man zwei Schutzniveaus:

#### **Schutzniveau ia**

Bei angelegter Spannung (vom eigensicheren Betriebsmittel und vom angeschlossenen Betriebsmittel) dürfen die eigensicheren Stromkreise im ungestörten Betrieb und bei Vorhandensein von **zwei** Fehlern zuzüglich derjenigen nicht zählbaren Fehler, die die ungünstigsten Bedingungen ergeben, zu keiner Zündung führen.

Zählbarer Fehler:

Fehler, der an Teilen des Betriebsmittels auftritt, welche mit den Bauvorschriften übereinstimmen.

Nicht zählbare Fehler:

Fehler, der an Teilen des Betriebsmittels auftritt, welche nicht mit den Bauanforderungen übereinstimmt.

#### **Schutzniveau ib**

Bei angelegter Spannung dürfen die eigensicheren Stromkreise im ungestörten Betrieb und bei Vorhandensein von **einem** zählbaren Fehler zuzüglich der nicht zählbaren Fehler, die die ungünstigsten Bedingungen ergeben, zu keiner Zündung führen.

Halbleiterbauelemente werden als störanfällig betrachtet. Um die Fehlerbedingungen einzuhalten, müssen diese deshalb für das Schutzniveau  $i_a$  dreifach, für das Schutzniveau  $i_b$  zweifach vorhanden sein.

### Zusammenschalten von Trennstufen und eigensicheren Betriebsmitteln

Die Zusammenschaltung einzelner Betriebsmittel zu einem eigensicheren Stromkreis ist unter Beachten bestimmter Anforderungen in Verantwortung des Errichters zulässig (EN 60079-14 Abschnitt 12.2.5). Werden zugehörige Betriebsmittel mit eigensicheren Geräten zusammengeschaltet, muss bei der Errichtung des Stromkreises darauf geachtet werden, dass die sicherheitstechnischen Werte der Trennstufe und des eigensicheren Betriebsmittels übereinstimmen.

Vereinfacht gesagt müssen die Ausgangsspannung und der Ausgangsstrom der Trennstufe kleiner sein, als es die zulässigen elektrischen Eingangswerte von den eigensicheren Betriebsmitteln sind. Daher sind Geräte im EX-Bereich meist mit anderen Leistungsdaten anzufinden als vergleichbare Geräte im nichtEX-Bereich.

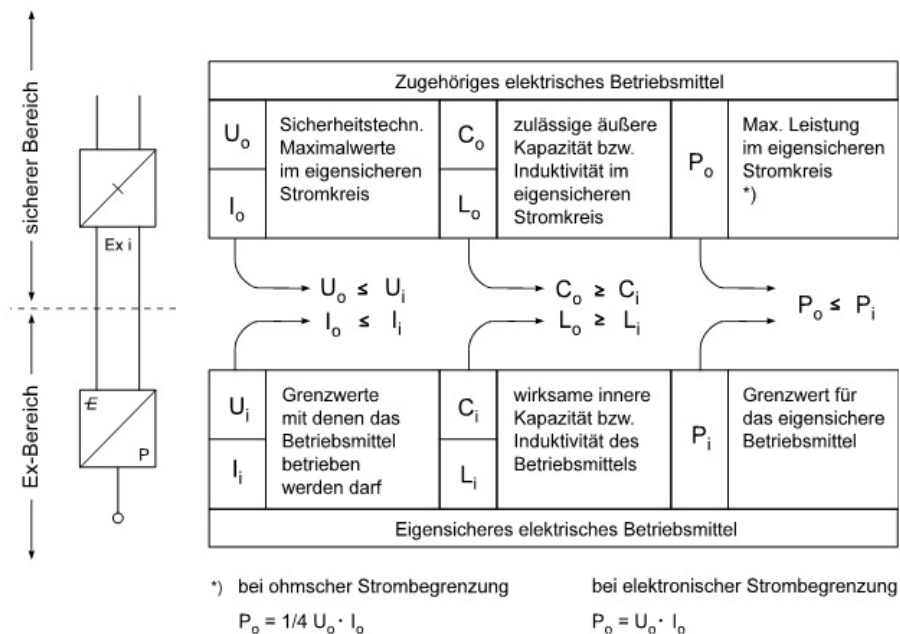


Abbildung 26: Elektrische Zusammenhänge für EXi-Trennung

Die Ausgangsspannung  $U_0$  (Leerlaufspannung) und der Ausgangsstrom  $I_0$  (Kurzschlussstrom) der Trennstufe muss kleiner sein als die zulässigen elektrischen Eingangswerte des eigensicheren Betriebsmittels  $U_i$  und  $I_i$ . Hierdurch soll eine Gefährdung der Bauteile und deren unzulässig hohe Erwärmung verhindert werden. Andererseits darf die im eigensicheren Stromkreis liegende Kapazität, die sich aus  $U_0$  ergebende maximal zulässige Kapazität  $C_0$  der Trennstufe nicht überschreiten. Neben der inneren Kapazität des eigensicheren Betriebsmittels  $C_i$  ist die Leitungskapazität zu beachten. (Richtwert 200 nF/km). Gleiches gilt für die Induktivität  $L_i$  des Stromkreises, die  $L_0$  nicht überschreiten darf. Auch die Zusammenschaltung mit mehr als einem zugehörigen elektrischen Betriebsmittel ist unter Beachten besonderer Bedingungen zulässig (siehe EN60079-11 Abschnitt 12.2.5.2).

### **Schutzniveau ic**

Die angelegte(n) Spannung(en) der eigensicheren Stromkreise bei elektrischen Betriebsmitteln des Schutzniveaus „ic“ dürfen nicht in der Lage sein im ungestörten Betrieb eine Zündung zu verursachen. Die Barriere bilden hier meist 2 parallel geschaltete Zenerdioden und ein ohmscher Leitungswiderstand ohne galvanische Trennung. Da es keine galvanische Trennung vorhanden ist muss dazu ein Anschluss an den Potentialausgleich erfolgen.

Eigensichere Stromkreise kann man in der Anlage leicht durch eine „Blaue Verdrahtung“ erkennen. Hier werden sowohl Kabel, Kabeldurchführungen und Kabelkanäle in blauer Farbe ausgeführt.

## 8.2 Sicherheitsgerichtete Funktionen

In der Chemischen Industrie sind unter anderem kritische bis gefährliche Funktionen und Abläufe vorhanden. Zum Schutz der Anlage und vor allem des Personals kann es notwendig sein „Sicherheitsgerichtete Funktionen“ zu installieren, diese sind meist durch eigene Hardware-, Software- Komponenten und auch eigenen Programmierungen realisiert. Man spricht hier von einem SIL-Level (Safety Integrity Level zu Deutsch auch Sicherheits-Integritätslevel) der realisiert werden muss. Die Einteilung erfolgt von SIL1 –SIL4 wobei SIL1 die niedrigsten Anforderungen besitzt. Diese Thematik wird in der EN 61508<sup>18</sup> genau behandelt. Eine genaue Erläuterung zur Einteilung in die einzelnen Stufen würde hier aber zu weit führen, es sei nur so viel gesagt. Es handelt sich hierbei um spezielle Berechnungen und Graphen wodurch schlussendlich die auszuführende Stufe erhalten wird.

Demnach müssen auch Komponenten vom Prozessleitsystem ausgewählt werden die dem SIL-Level entsprechen. Die Komponenten sind je Hersteller farblich gekennzeichnet, bei Siemens bzw. Emerson in „gelb“ bei Rockwell Automation in „rot“. Für Programmierungen mit einem gewissen SIL-Level müssen eigens vom Hersteller entwickelte und getestete Bausteine verwendet werden. Weiters kann eine eigene TÜV-Prüfung von Hardware und Software notwendig sein.



Abbildung 27: Sicherheitsgerichtete Siemens, Emerson, Rockwell Automation Komponenten

## 8.3 Anzahl I/Os

Die Anzahl der I/Os ist sowohl für die Beschaffung der notwendigen I/O-Karten und der notwendigen Softwaretechnischen Lizenzen ausschlaggebend. Diese Anzahl wird anhand der R+I Schemen berechnet und in eine Liste oder eigene Datenbank übernommen. Es erfolgt anhand der aufgelisteten Messstellen und Signale die Summe der benötigten binären Eingangssignale, binären Ausgangssignale, analogen Eingangssignale und analogen Ausgangssignale.

Weiter muss eine Einteilung zur Unterscheidung von „nichtEX“ und „EX-Signalen“ erfolgen. Aus der Erfahrung zeigt sich, dass man die für die schlussendliche Anzahl der einzelnen Signaltypen eine Reserve von ca.10% hinzurechnen sollte. Die angegebenen 10% Reserven sind natürlich nur ein Richtwert der je Anlagengröße und Anwendung unterschiedlich sein kann. Diese Reserven werden für diverse Änderungen im späteren laufenden Betrieb benötigt um keinen Engpass zu erhalten. Es ist zwar kein Problem alle moderneren Prozessleitsysteme anhand ihrer Signalanzahl zu erweitern, jedoch gibt es oft räumliche Begrenzungen die sich nur bei der Errichtung gut bewältigen lassen. Weiters ist für eine Signalanzahlerweiterung oft ein Stillstand notwendig dieser damit umgangen werden kann. Somit steht hier wie auch bei fast allen anderen Auswahlpunkten der Kosten/Nutzenfaktor im Fokus.

---

<sup>18</sup> [URL] <http://www.bdb.at/Service/NormenDetail?id=285691>

## 8.4 Auswahl geeigneter Controller

Je Prozessleitsystem stehen meist auch verschiedene Controller zur Auswahl. Die grundsätzliche Anzahl der Controller wird vom Speicherplatzvermögen des jeweiligen Controllertypen bestimmt. Für die genaue Anzahl an Controllern ist meist der Hersteller hinzuzuziehen. Der Hersteller kann anhand der Signalanzahl und des daraus geschätzten Aufwandes für die Programmierung die Mindestanzahl angeben.

Da meist eine Unterteilung der Chemischen Anlage in Teilanlagen erfolgt, macht es vor allem bei komplexeren Teilanlagen Sinn auch je Teilanlage einen eigenen Controller der nur für diesen Bereich Zuständig ist zu verwenden.

## 8.5 Auswahl Feldbussysteme

Bei größeren Anlagen macht es Sinn das Prozessleitsystem mit einem Feldbus für die Anbindung der Signale auszustatten. Die wesentlichen Punkte die einen Einfluss auf den Einsatz eines Feldbusses haben sind:

- Räumliche Situation

Ist es gewünscht die Controller in einen zentralen Bereich zu platzieren (z.B. Controllerraum), macht es Sinn die I/O Karten abgesetzt zu platzieren um den Verkabelungsaufwand zu minimieren.

- Verkabelungsaufwand

Der Verkabelungsaufwand spiegelt sich direkt im Preis nieder, weil das zusätzliche eingesetzte Material und der Mehraufwand an Arbeit bei großen Anlagen berücksichtigt werden muss.

- Preis

Das Hauptkriterium für eine Errichtung einer Chemischen Anlage ist natürlich immer auch der resultierende Preis für die Errichtung. Daher fließt dieser direkt in alle Entscheidungen mit ein, die Entscheidung für einen Feldbus kann hier einen Vorteil mit sich bringen.

- Umgebungskonditionen

Diese spielen nicht nur aus Sicherheitssicht (z.B. Explosionsschutz) eine Rolle. Um beispielsweise günstigere oder auch für den Bereich nicht geeignete Komponenten in Verbindung mit einer zusätzlichen EX-Trennung abgesetzt einsetzen zu können.

Weiters können auch Komponenten vom Prozessleitsystem (z.B. Controller, I/O Komponenten) in extra konditionierten Räumen untergebracht werden. Das hat eine Schonung der Komponenten zur Folge und kann somit Systemstörungen, Wartungen und somit auch Kosten sparen.

- Wartungsaufwand

Ein Bussystem hat gleichzeitig Vorteile und Nachteile im Bezug auf den Wartungsaufwand.

Der Wartungsaufwand für einen Bus ist sehr gering, weil es mitunter schwierig ist sinnvolle Arbeiten durchzuführen. Für die Qualitätsbeurteilung eines Bussystems sind oft eigene Komponenten im Einsatz, welche das System überwachen und gegebenenfalls eine Meldung in einer bestimmten Art und Weise ermöglichen. (z.B. Für die Profibusdiagnose von Trebing+Himstedt - der xEPI2 welcher hierfür vorteilhaft eingesetzt werden kann.)

Im Fehler/Störfall sind Bussysteme bekanntlicherweise recht intransparent und benötigen einiges an fachspezifischem Know-how und Erfahrung zur Beseitigung.

- Vertrauen

Das Vertrauen zum Produkt/Feldbussystem muss gegeben sein und auch das nötige Wissen über das System. In der Chemischen Industrie (Pharma) ist man daher bestrebt am Markt etablierte Systeme einzusetzen.

Regionale Einflüsse prägen auch in diesem Zusammenhang sehr oft die Entscheidung für eine gewisse Bustechnik.

(z.B. Profibus Haupteinsatz in Europa, DeviceNet Haupteinsatz in den USA)

### 8.6 Feldgeräteanbindung

Wie bereits im Punkt der Prozessnahen Komponenten erwähnt ist das 4-20mA Signal das am häufigsten angetroffene analoge Signal in der Chemischen Industrie. Das 4-20mA Signal ist nicht nur aufgrund einer Störungdetektion sehr beliebt weitere Vorteile sind im Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit gegeben. Dennoch werden diese Signale mit geschirmten Leitungen ausgeführt. Die Empfehlung seitens der NAMUR bezeichnet das 4-20mA Signal ebenfalls als die zuverlässigste Variante. Ebenfalls können Sensoren gemäß der Vorgabe der NAMUR als sogenannte NAMUR-Sensoren betrieben werden. Dabei hat ein einfacher Schalter oder Taster 4 Zustände.

1. Strom von 0 mA  $\Rightarrow$  Drahtbruch, Schaltkreis offen
2. Strom von ca. 20 % des Maximalwertes  $\Rightarrow$  Sensor bereit, bedämpft
3. Strom von ca. 60 % des Maximalwertes  $\Rightarrow$  Sensor bereit, unbedämpft
4. Strom von Maximalwert  $\Rightarrow$  Kurzschluss, Maximalstrom

Der Nachteil der dadurch entsteht ist einfach zu erkennen man benötigt für einen einfachen Kontakt anstatt der „gewohnten“ binären Signalbearbeitung eine analoge Auswertung was in Installation, Ausführung und Programmierung aufwendiger und teuer ist.

Eine zusätzliche Möglichkeit der Erweiterung für ein 4-20mA Signal ist das sogenannte HART<sup>19</sup>-Protokoll.

**H**ighway **A**ddressable **R**emote **T**ransducer (HART) ist ein standardisiertes, weit verbreitetes Kommunikationssystem zum Aufbau industrieller Feldbusse. Es ermöglicht die digitale Kommunikation mehrerer Teilnehmer (Feldgeräte) über einen gemeinsamen Datenbus. HART setzt dabei speziell auf dem ebenfalls weit verbreiteten 4-20 mA-Standard (zur Übertragung analoger Sensorsignale) auf.

Über das 4-20mA Signal werden Sollwerte (z.B. für digitale Stellungsregler) oder Istwerte (z.B. für Messumformer) übertragen. Neben der Signalübertragung dienen diese Stromsignale bei der 2-Leiter Technik als Versorgung der Feldgeräte. Diesem analogen Signal wird im FSK Verfahren (Frequency Shift Keying) ein digitales Signal aufmoduliert. Somit können zusätzlich Mess-, Stell- und Gerätedaten übertragen werden, ohne das Analogsignal zu beeinflussen.

Dazu müssen natürlich sowohl die Hardwarekomponenten des Prozessleitsystems die eventuelle EX-Trennung und auch das Feldgerät HART kompatibel sein.

Somit ist es beispielsweise möglich von einem Massendurchflussmessgerät(Coriolis) über ein einzelnes 4-20mA HART Signal sowohl Masse, Temperatur und Dichte zu übertragen.

Soweit ich informiert bin ist die Verbreitung von HART-Lösungen in Chemischen Anlagen (Pharma) relativ gering verbreitet. Dies könnte sich mit dem Einzug der WirelessHART Verbindungen in Zukunft aber ändern.

---

<sup>19</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Highway\\_Addressable\\_Remote\\_Transducer](http://de.wikipedia.org/wiki/Highway_Addressable_Remote_Transducer)



## 8.7 Auswahl der I/O Komponenten

In diesem Abschnitt erfolgt die tatsächliche Auswahl der I/O Karten. Welcher Typ eingesetzt wird und in weiterer Folge die benötigte Anzahl der diversen Typen. Die Grundlage bilden hier die im Vorfeld getätigten Entscheidungen und Arbeiten. Für manche Signale werden eigene Kartentypen benötigt und müssen hier berücksichtigt werden (z.B. Impulszählerkarten mit hohen Geschwindigkeiten). Zu diesem Punkt ist an sich relativ wenig zu sagen dieser ist aber aus Erfahrung zeitintensiv.

## 8.8 Redundanzen

Der Begriff Redundanzen bezeichnet in der Technik den Bestand von gleichwertigen Komponenten welche im Normalfall d.h. im störungsfreien-Betrieb nicht benötigt werden. Diese Komponenten übernehmen im Fehlerfall den Dienst der gestörten Komponente ohne, dass dies einen Stillstand/Systemausfall zur Folge hat.

Mögliche Komponenten für Redundanzen bzw. Redundante Systeme sind:

- Feldgeräte
- Alle Bussysteme
- I/O Komponenten
- Controller
- Spannungsversorgungen
- Bedien- und Beobachtungs- Server/Rechner
- Batch-Server

Man sieht also es kann so ziemlich jede Komponenten eines Prozessleitsystems redundant ausgeführt werden. Es kann natürlich sein, dass ein Hersteller für eine gewisse Komponente im Prozessleitsystem keine redundante Lösung bietet. Redundanzen sind im Allgemeinen aber eine sinnvolle Investition um die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Vor allem bei den Spannungsversorgungen und den diversen Feldbussen (vor allem Industrial Ethernet) sind Redundanzen auch leicht aufzubauen und im Vergleich kostengünstig und somit empfehlenswert für eine Etablierung bereits bei der Prozessleitsystemplanung und Errichtung. Redundante Feldgeräte kommen bei kritischen Messungen zum Einsatz. (z.B. pH-Messung einer Reaktion im Produktionsablauf)



## 8.9 Programmierstandards (Typicals)

Die Verwendung eines Programmierstandards bringt viele Vorteile und wird nicht nur in der Chemischen Industrie umgesetzt. Das Ziel ist es Programmteile des Prozessleitsystems die häufig wiederkehren zu definieren. Diese Programmteile werden in weiterer Folge als „Typicals“ bezeichnet. Diese Typicals sollten sowohl auf der prozessnahen Ebene (Controller) und der Bedien- und Beobachtungs- Ebene bestehen und durchgängig eingesetzt werden.

Die Vorteile die daraus entstehen sind:

- Verbesserung der Qualität der Planungsunterlagen durch Wiederverwendung bewährter und wiederkehrender Typicals
- Test der Typicals zu frühen Planungszeitpunkten ermöglicht sehr frühe Fehlererkennung
- Verkürzung der Planungszeit
- Prozessleitsystem-Softwaretest lässt sich weitgehend verkürzen, da nicht jede einzelne Funktion überprüft werden muss. → Typicaltest (keine „Copy/Paste-Fehler“)
- spätere Änderungen lassen sich auf Typicalebene durchführen
- Einmalige Prüfung von Funktionen wie Betriebsartenumschaltungen (Hand-, Automatik-, Batch- Betrieb)
- Durchgehende Bezeichnung der einzelnen Parameter
- Vorteile im Zusammenspiel zwischen PNK und BUB Ebenen

Typische Anwendungen von Typicals sind für folgende Komponenten im Prozessleitsystem:

- Analoger Eingang
- Analoger Ausgang
- Binärer Eingang
- Binärer Ausgang
- Regler (PID)
- Schaltventil mit Endschalter
- Schaltventil ohne Endschalter (Magnetventile)
- Regelventil
- Motor allgemein (EIN/AUS)
- Geregelter Motor (über Frequenzumrichter)
- Grundgerüst von Ablauffunktionen (Start-, Stopp-, Halt-, Abbruch- Funktionen)

## 8.10 Rezeptverwaltung (Batch-System)

Die Entscheidung über den Einsatz eines Batch-Systems ist natürlich auch ein wesentlicher Bestandteil der Planungsphase. Für die Chemische Industrie vor allem Pharma ist eine automatisierter Ablauf nahezu nicht wegzudenken um die gewünschten und geforderten Produkte in gleichbleibender Qualität liefern zu können. Nur durch einen kontrollierten und stets identen Ablauf kann man dies zuverlässig einhalten. Durch ein Batch-System ist das bestmöglich gegeben. Wird kein Batch-System eingesetzt muss man für dies durch andere programmtechnische Schritte oder dgl. ersetzen was mitunter ebenfalls sehr aufwändig und teuer werden kann. Für Monoanlagen (es wird nur ein Produkt erzeugt) kann man sich das eventuell noch vorstellen, werden jedoch mehrere Produkte auf derselben Anlage produziert wird das sehr schwer umsetz und handhabbar. Bei Anlagen mit mehreren Produkten und Rezepten spricht man von so genannten Multipurpose-Anlagen.

## 8.11 Datenarchivierung

Für die Daten die über den Lebenszyklus eines Prozessleitsystems auftreten muss man sich ebenfalls Gedanken machen. Hierbei sind vor allem Prozessdaten der diversen Messungen, Batch-Protokolle, Alarmer und Meldungen relevant die auch über die Qualität des Produktes ausschlaggebend sind. Für eine elektronische Datenarchivierung steht in einem Prozessleitsystem nur ein begrenzter Speicher (meist ein Ringspeicher mit First In – First Out Prinzip) zur Verfügung. Prinzipiell könnte man auch alle relevante Daten ausdrucken und so archivieren. Für eine Datenarchivierung stehen auch diverse elektronische Systeme zur Verfügung (siehe auch das noch betrachtete PI-System von OSI).

Weitere Daten unterliegen ebenfalls einer Archivierungspflicht und sind zu archivieren. Diese sind z.B. Programme, Sequenzen, Rezepte, Grafiken und Parameter.

Konfigurations- und Benutzerdaten Dies betrifft vor allem Anlagen der Chemischen Industrie (Pharma) die den GMP-Anforderungen unterliegen.

Unter GMP<sup>20</sup> (Good Manufacturing Practice, „Gute Herstellungspraxis“) versteht man Richtlinien zur Qualitätssicherung der Produktionsabläufe und -umgebung in der Produktion von Arzneimittel und Wirkstoffen, aber auch bei Lebens- und Futtermitteln. In der pharmazeutischen Herstellung spielt die Qualitätssicherung eine zentrale Rolle, da hier Qualitätsabweichungen direkte Auswirkungen auf die Gesundheit der Verbraucher haben können. Ein GMP-gerechtes Qualitätsmanagementsystem dient der Gewährleistung der Produktqualität und der Erfüllung der für die Vermarktung verbindlichen Anforderungen der Gesundheitsbehörden.

## 9 Regulatorische Anforderungen

### 9.1 Validierung/Qualifizierung

Durch die Validierung wird der dokumentierte Beweis erbracht, dass ein Prozess oder ein System die vorher spezifizierten Anforderungen im praktischen Einsatz reproduzierbar erfüllt.

Durch die Qualifizierung wird der dokumentierte Beweis erbracht, dass ein Gerät oder eine Anlage die vorher spezifizierten Anforderungen im praktischen Einsatz reproduzierbar erfüllt und für die Aufgabe geeignet ist.

Es ist in der Chemischen Industrie (Pharma) notwendig Prozessleitsysteme einer Validierung/Qualifizierung zu unterziehen. Für die Qualitätssicherungsmaßnahmen über den gesamten LifeCycle (Lebenszyklus) eines Prozessleitsystems sind laut „Good Automated Manufacturing Practice“ (GAMP<sup>21</sup>) der ISPE<sup>22</sup> (International Society of Pharmaceutical Engineering) einige Aktionen und vor allem Dokumentation notwendig.

Zur Gewährleistung der Qualitätssicherungsmaßnahmen, der korrekten Funktionalität und Betriebssicherheit der Prozessleitsysteme ist sicherzustellen, dass:

- die Zuständigkeiten festgelegt sind
- das ordnungsgemäße Vorgehen in den verschiedenen Projektphasen gewährleistet ist
- die Übergabe an den Betreiber bzw. die Instandhaltung ordnungsgemäß abgewickelt wird
- die benötigte Dokumentation vollständig vorhanden ist
- das Prozessleitsystem und die dazugehörige Dokumentation im Life-Cycle gepflegt wird.

---

<sup>20</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Good\\_Manufacturing\\_Practice](http://de.wikipedia.org/wiki/Good_Manufacturing_Practice)

<sup>21</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Good\\_Automated\\_Manufacturing\\_Practice](http://de.wikipedia.org/wiki/Good_Automated_Manufacturing_Practice)

<sup>22</sup> [URL] <http://www.comes-compliance.com/en/contact-us/ispe-gamp-5-in-der-praxis-de>

**Vorgangsweise** Die Grundlage hierfür ist das V-Modell für den Qualifizierungsablauf eines Prozessleitsystems sowie das System Development Life-Cycle Modell. (SDLC)

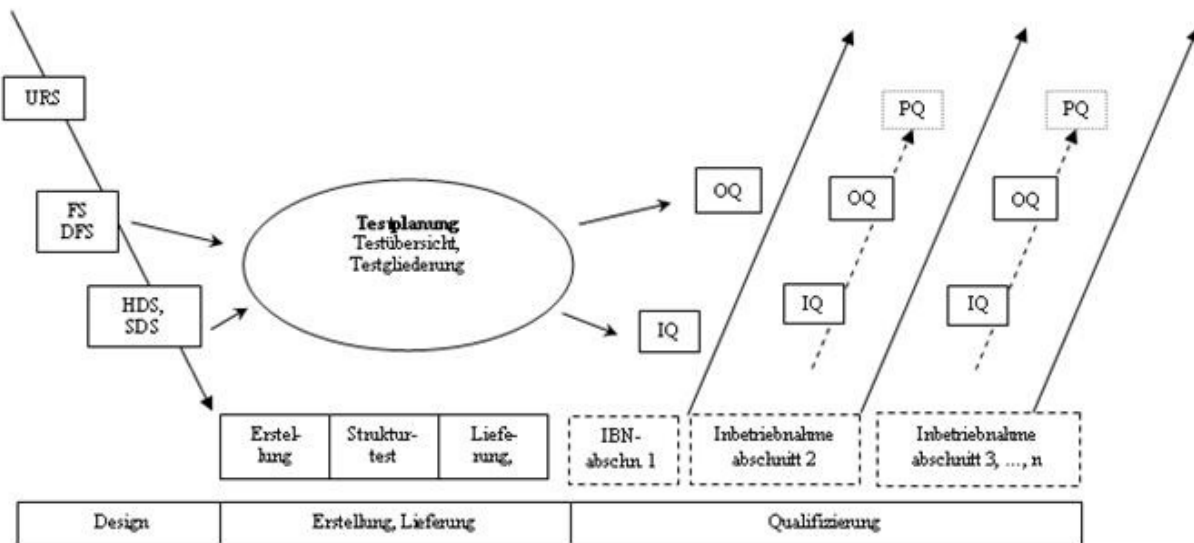


Abbildung 28: V- Modell

Die am linken Ast des V produzierten maßgeblichen Schlüsseldokumente bilden die Grundlage für die Erstellung der Prüfdokumente, die im Rahmen der Prüfphasen (IQ, OQ, PQ) des rechten Astes des V-Modells benötigt werden. Die Design Qualifikation (DQ) ist phasenübergreifend im linken Ast des V bei allen Spezifizierungsarbeiten durchzuführen und prüft die Vollständigkeit der notwendigen Schlüsseldokumente.

#### **System Development Life Cycle Modell (SDLC)**

Das System Development Life Cycle Modell beschreibt die Phasen des Lebenszyklus eines Prozessleitsystems von der Planungs- über die Erstellungs- und Betriebsphase bis zu seiner Stilllegung. Das V-Modell ist für den Teil „Qualifizierung“ darin in aufgeklappter Form wieder zu finden (Planung bis Inbetriebnahme).

Das SDLC-Modell gibt dazu noch den Teil wieder, der das System bis zu seiner Stilllegung begleitet.

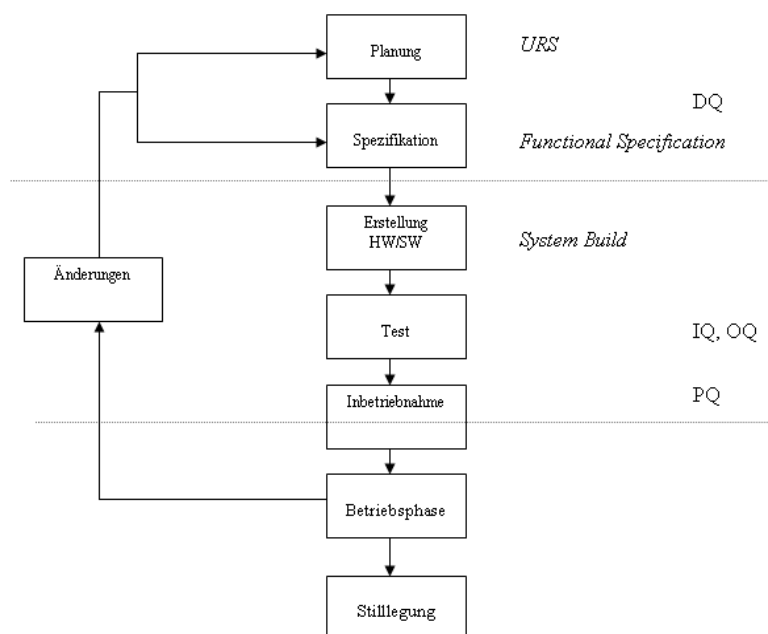


Abbildung 29: SDLC- Modell

Die folgenden Punkte beschreiben grundsätzlich die einzelnen Punkte aus den beiden oben angeführten graphischen Übersichten mit noch einigen zusätzlichen Punkten.

### **Planung**

Zu Beginn eines Projektes sind einige Maßnahmen festzulegen, um den geordneten Ablauf nach GMP-Richtlinien zu gewährleisten. Der Projektumfang wird durch die Projektunterlagen (R+I Schemen, Prozessbeschreibung, Anzahl der Messstellen etc.) und in der Validierungsvorschrift beschrieben.

### **User Requirements Specification (URS)**

Die User Requirements Specification wird vom Anlagenbetreiber mit Unterstützung der bzw. des verantwortlichen Prozessleittechnikers geschrieben und legt die Anforderungen an das Prozessleitsystem aus Sicht des Benutzers fest („WAS soll das System können und WOFÜR?“). Alle Komponenten (notwendige Arbeitsplätze, Drucker, Schnittstellen etc.), Abläufe, Funktionsweisen (Alarmer, Quittieren etc.) und Randbedingungen (vorhandene Hard- und Softwarestandards) müssen möglichst detailliert sein.

### **Traceability**

Um den Bezug zwischen einer Anforderung der User Requirements Specification, deren Umsetzung im Projektverlauf und dem Test der realisierten Anforderung verfolgen zu können, ist die Einführung einer Vorgangsweise zur Nachverfolgbarkeit (Traceability) notwendig. Dies erfolgt meist anhand einer Art Querverweisliste

### **Validierungsvorschrift (VV)**

Es ist eine Validierungsvorschrift zu erstellen, diese beschreibt oder referenziert das zu qualifizierende System für die Validierung, legt die zu liefernden Unterlagen, verantwortlichen Personen und Termine für die Qualifizierung fest.

### **Design Qualifikation (DQ)**

Im Rahmen der Design Qualifikation werden alle Tätigkeiten beschrieben, die nötig sind, um ein Prozessleitsystem hard- und softwaremäßig zu erstellen und zu testen. Der Detaillierungsgrad der Spezifikationen muss so genau sein, dass eine Zusammensetzung der benötigten Hardware und die Programmierung der Anwendersoftware nachvollziehbar möglich ist.

#### ▪ **Functional Specification (FS)**

Die Functional Specification beschreibt aus technischer Sichtweise die Umsetzung aller Anforderungen, die in der URS beschrieben sind („WIE soll das System funktionieren und WOMIT wird das umgesetzt?“). Als Entwicklungsbasis können zusätzliche Dokumente wie eine genaue Prozessbeschreibung, R+I-Schemen etc. dienen.

Sie muss sowohl funktionale Teile des Prozessleitsystems und auch die Funktionsbeschreibung (Anwenderprogramm) enthalten.

Die FS ist sowohl während des Projekts als auch im Betrieb ein fundamentales Dokument und unterliegt aus diesem Grund einem Änderungsmanagement (Change Control). Bei umfangreichen Projekten ist es sinnvoll, die FS aufzuteilen, wobei dann jeder dieser Teile der FS ebenfalls dem Change Control unterliegen (z.B. Aufteilung in HDS und SDS) Um HDS und vor allem SDS allgemein halten zu können, werden weiterführende Dokumente welche dann den funktionalen Teil enthalten erstellt. Das sind meist Messstellenlisten, Alarmlisten, Ablaufbeschreibungen etc.

#### ▪ **Hardware Design Specification (HDS)**

Die HDS beschreibt das Prozessleitsystem im Aufbau bzw. das Zusammenwirken der Hardwarekomponenten, Schnittstellen, peripheren Geräte aus der Sicht des Lieferanten. (Auflistung der benötigten HW-Komponenten, mechanische Montage, elektrischer Anschluss, Bus- / MSR- Verbindungen, etc.).

### ▪ Software Design Specification (SDS)

In der SDS werden die Vorgaben für die Erstellung der Software angegeben. Dies sind zu verwendende Richtlinien, Standards, Konventionen und Sondervereinbarungen, welche die Herstellung von Anwendersoftware auf Basis der Function Specification regeln sollen. Die SDS ist im Aufbau systemspezifisch orientiert und ist eine eigentliche Anweisung für den Anwenderprogrammierer. Datenstruktur, Funktionsablaufdiagramm, Module, Variablen, Namenskonventionen, I/O-Behandlung, Regler, Alarmbehandlungen, Schnittstellen etc. werden hier definiert und beschrieben.

### ▪ Kalibrierungseinstufung

Die Messstellen eines Prozessleitsystems müssen kalibriert werden. Eine Kalibrierung ist vereinfacht gesagt ein Vergleich der Messstelle (gesamte Messstrecke von Feldgerät bis Visualisierung) mit einem geeigneten Prüfmittel um die Abweichung zu ermitteln und festzuhalten. Dieses Prüfmittel muss auf ein nationales Normal rückführbar sein.

In der Einstufung werden zum Beispiel die Intervalle und akzeptablen Toleranzen festgelegt.

Man beachte, dass eine Kalibrierung nicht mit einer Eichung gleichzusetzen ist.

### Änderungsmanagement (Change Control)

Für eine Kontrolle der durchzuführenden Änderungen im gesamten Lebenszyklus eines Prozessleitsystems muss ein Änderungsmanagement- System (oft als Change Control bezeichnet) bestehen. Dieses ist bereits beim Aufbau eines Prozessleitsystems aktiv und überwacht und dokumentiert anfallende Änderungen.

Alle Dokumente unterliegen natürlich ebenfalls diesem System und müssen nachvollziehbar geändert werden.

### Testplanung für IQ/OO/PQ

Für die Testplanung und Testdurchführung ist die Vorgangsweise und der Testablauf zu definieren. Mitunter kann es nötig sein mehrere Inbetriebnahmeabschnitte zu definieren das muss hier ebenfalls berücksichtigt werden.

### Erstellung und Installation Hardware / Software

In diesem Abschnitt wird das Prozessleitsystem aufgebaut und das Anwenderprogramm erstellt, es werden somit die Punkte aus der Functional Specification (bzw. *SDS*, *HDS*, ...) umgesetzt.

### Installation Qualifikation (IQ)

In der Installation Qualifikation wird die ordnungsgemäße Installation des Prozessleitsystems nachgewiesen.

Die 2 wesentlichsten Punkte im IQ- Abschnitt sind:

### ▪ Loopcheck

Der Loopcheck soll die ordnungsgemäße Funktion der Verbindung der Feldgeräte zum AS überprüfen und dokumentieren.

### ▪ Kalibrierung

Die Kalibrierung stellt sicher, dass sich eine Messstelle innerhalb einer akzeptablen Toleranz befindet und somit die Messstelle ihrer angedachten Funktion gerecht wird.

### **Operational Qualifikation (OQ)**

Die Operational Qualifikation soll die ordnungsgemäße Funktion des Anwenderprogramms mit den Anlagenelementen überprüfen. Diese Testungen werden in der Chemischen Industrie (Pharma) meist als Wasserläufe bezeichnet.

Ebenfalls werden die Zutrittsrechte zum Prozessleitsystem im Abschnitt der OQ überprüft.

### **Performance Qualifikation (PQ)**

Die Performance Qualifikation weist nach, dass das Prozessleitsystem in der Lage ist alle am Beginn der Validierung definierten Punkte auszuführen.

### **Validierungsbericht**

Die Teilberichte der einzelnen Inbetriebnahmeabschnitte die Ergebnisse der Abschnitte (DQ, IQ, OQ, PQ) bilden die Grundlage des Validierungsberichtes. Im Validierungsbericht werden die erzielten Ergebnisse sowie Abweichungen und Änderungen in der Projektphase beschrieben und der Validierungszustand des Prozessleitsystems festgelegt.

### **Einführung Betriebsphase**

Zur Fertigstellung eines Prozessleitsystems müssen die für den ordnungsgemäßen Betrieb und die Aufrechterhaltung des validierten Zustandes alle nötigen Systeme eingerichtet sein.

### **Stilllegung**

Die Stilllegung beschreibt alle nötigen Tätigkeiten welche für die Außerbetriebnahme eines Prozessleitsystems zu tätigen sind.

## 9.2 21CFR Part11

Dies ist eine Vorschrift seitens der „Food and Drug Administration“<sup>23</sup> (FDA) und befasst sich unter anderem mit elektronisch gespeicherten Daten, elektronischen Unterschriften, mit dem Zugriffsschutz, sowie mit statischen- und dynamischen Daten in einem Prozessleitsystem. Die Konformität auf die Forderungen von 21CFR Part11 ist eigens zu betrachten und gegebenenfalls zu realisieren.

Die Aufgabe der FDA ist der Schutz der öffentlichen Gesundheit in den USA. Die FDA kontrolliert die Sicherheit und Wirksamkeit von Human- und Tier- Arzneimitteln, biologischen Produkten, Medizinprodukten, Lebensmitteln und strahlenemittierenden Geräten. Dies gilt für in den USA hergestellte sowie importierte Produkte.

Diese Vorschrift ist somit für alle Betriebe in diesem Umfeld gültig und wird anhand von Überprüfungen seitens der FDA kontrolliert.

---

<sup>23</sup> [URL] [http://de.wikipedia.org/wiki/Food\\_and\\_Drug\\_Administration](http://de.wikipedia.org/wiki/Food_and_Drug_Administration)

### 9.3 Backup/Restore von Prozessleitsystemdaten

#### **Backup**

Backup ist der Prozess des Kopierens von Aufzeichnungen, Daten und Software zum Zweck des Schutzes gegen Verlust der Integrität oder der Verfügbarkeit des Originals.

#### **Restore**

Restore ist die spätere Wiederherstellung von Aufzeichnungen, Daten oder Software, wenn sie erforderlich ist.

#### **Backup-Arten**

<b>System(daten)-Backup</b>	<p>Betriebssystem (Unix, Windows)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Unix</li><li>• Windows</li></ul> <p>Prozessleitsystem</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Foxboro (I/A,...)</li><li>• Rockwell (RSView,...)</li><li>• DeltaV</li><li>• Siemens (PCS7,...)</li></ul>
<b>Anwenderdaten-Backup</b>	<p>Anwenderdaten, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grafiken</li><li>• Programme, Sequenzen, Scripts</li><li>• Rezepte</li><li>• Quellcode</li><li>• Parameter</li><li>• Konfigurations- und Benutzerdaten</li></ul>

*Tabelle 4: Backuparten und dazugehörige Daten*

#### **System(daten)-Backup**

System-Backups werden erzeugt, um die zum Zeitpunkt des Backups gültigen und korrekten Stände aller Systemkomponenten des Prozessleitsystems zur Verfügung zu haben und diese kurzfristig und fehlerfrei wiederherstellen zu können.

Ein Backup-Prozess kann erforderlich sein:

- vor umfangreichen Änderungen in der Systemsoftware oder bei Einführung einer neuen Revision (Upgrade)
- in regelmäßigen Zeitabständen (bzw. jährlich als Vollständiges Backup)

#### **Anwenderdaten-Backup**

Anwenderdaten-Backups werden erzeugt, um bei einem Ausfall oder nach Änderungen die zuletzt gültigen und korrekten Stände aller Anwenderkomponenten des Prozessleitsystems zur Verfügung zu haben und diese kurzfristig und fehlerfrei wiedereinspielen zu können. Das Anwenderdatenbackup betrifft z. Bsp. Grafiken, Programme, ...

Ein Backup-Prozess kann erforderlich sein:

- nach jeder Modifikation
- bei Durchführung einer Änderung am Prozessleitsystem
- in definierten Zeitabständen.

#### **Organisation**

Hier wird genau definiert: Was? Wann? Wie oft? Womit? und an welchen Ort die Backup-Arten durchgeführt und archiviert werden.

## 9.4 Zutrittskontrolle bei Prozessleitsystemen

Es ist grundsätzlich zwischen den Maßnahmen des physischen Zugangs zu den Prozessleitsystemen und den systemtechnischen Zutrittskontrollen zu unterscheiden.

Physische Zutrittsregelungen sind Maßnahmen für folgende Bereiche:

- Rechnerräume bzw. -schränke
- Aufbewahrungsorte für Software, Datensicherungsträger, Dokumentationen,...
- Hardware und Software des Prozessleitsystems, Programmierstationen bzw. -geräte

Die systemtechnischen Zutrittskontrollen betreffen alle Maßnahmen zum logischen Zutrittsschutz, wie:

- Anmeldung am Betriebssystem oder Netzwerk,
- Logischer Zutritt zum Bedien und Beobachtungs- System
- Festlegung von Benutzergruppen
- Definition von Benutzerebenen
- Passwordrichtlinien.

Hier müssen ebenfalls eventuelle Forderungen gemäß 21 CFR Part 11 beachtet werden.

- Berechtigungsgruppen müssen etabliert werden (mindestens eine Unterscheidung nach Administrator- und Normalbenutzerebene).
- Jeder aktive Benutzer benötigt einen eigenen Zugang/Account. Es sind keine Sammelaccounts zugelassen (außer für Beobachterstatus).
- Administratorenrechte sollten sehr restriktiv vergeben werden.
- Bei der Mitarbeit von Fremdfirmen (engl. Third-Party) müssen diese Personen ebenfalls exakt identifiziert werden. Aus diesem Grunde benötigt jeder Fremdmitarbeiter einen eigenen Account.
- Automatisches logout definieren, nach der ein Benutzer ab 15 Minuten Inaktivität automatisch ausgeloggt wird.
- Das Password muss eine Mindestlänge von 8 Zeichen aufweisen und vom Benutzer änderbar sein (d.h. nicht nur durch den Administrator).
- Die Änderung des Passworts muss alle 60 Tage vom System erzwungen werden.

### Zutrittsebenen

In Zugriffsebenen (Zugriffsleveln) wird festgelegt, welche Funktionen, Eingaben oder Bedienungen der dem jeweiligen Level zugeordnete Benutzer ausführen darf. Folgende Zugriffslevel sollten aus meiner Sicht definiert werden:

- Administrator-Ebene
- Ingenieur-Ebene
- Meister-Ebene (Meister, Schichtführer)
- Anlagenfahrer – Ebene (Operator)



## 9.5 LifeCycle Dokumentation

Als LifeCycle Dokumentation bezeichnet man die gesamte Dokumentation über das gesamte Bestehen eines Prozessleitsystems. Diese Dokumentation spiegelt das Prozessleitsystem in beschreibender/dokumentierter Form wieder. LifeCycle Dokumentationen werden in der Chemischen Industrie (Pharma) fast ausschließlich in Papierform realisiert. Bei validierten Prozessleitsystemen sind das die Dokumente die während der Validierung entstanden sind. Diese Dokumente werden gemäß dem Änderungsmanagement auf dem aktuellen Stand gehalten und unterliegen für die Rückverfolgbarkeit(Traceability) einer Versionisierung. D.h. mit jeder Änderung am Prozessleitsystem erhält das damit verbundene Dokument eine neue Versionsnummer. Ebenfalls wird in den Dokumenten ein Versionsverzeichnis mit kurzer Beschreibung der jeweiligen Änderung hinzugefügt.

Diese Arbeit ist in der Praxis nicht zu unterschätzen und verschlingt natürlich Ressourcen(Zeit und Geld) sie ist besonders bei eingefleischten Programmierern daher oft sehr unbeliebt stellt aber ein MUSS bei jeder validierten Anlage dar.

## 10 Eingesetzte Prozessleitsysteme

Nachfolgend einige Systeme welche z.B. bei der Sandoz GmbH eingesetzt sind.

Einige persönliche Eindrücke, Kommentare Mindestanfordernisse werde ich auch je System anführen.

### 10.1 Mischsystem (Siemens/Rockwell Automation)

Dieses eigens entwickelte System ist vor allem vom Umfang her kleineren Anlagen im Einsatz. Auf eine Beschreibung eines einzelnen Systems gehe ich nicht näher ein. Lediglich den Grundaufbau werde ich etwas beschreiben.

Die Controller Ebene übernimmt eine Siemens S7-400 Steuerung. Ebenfalls besitzt diese meist Remote I/O Komponenten von Siemens (ET200M Anschaltungen) über ProfibusDP.

Die Kommunikation zu Bedien- und Beobachtungs- Stationen sowie Externen Systemen erfolgt über Ethernet.

Die Visualisierung wird mittels RSVIEW32 von Rockwell Automation realisiert. Die Bedien- und Beobachtungs-Stationen werden Peer to Peer über Ethernet an einen zentralen Switch angebunden. Aus der Erfahrung hat sich gezeigt, dass bis zu 4 Stationen einwandfrei funktionieren. Es sind natürlich auch mehr Stationen möglich, es wird aber aufgrund der Datenmengen die Reaktionszeit für den Bediener etwas verlängert.

Die Verbindung zwischen PNK- und BUB- Ebene ist über Ethernet realisiert. Die Daten werden mittels OPC von der BUB-Ebene direkt an der Siemens Steuerung „abgeholt“.

Diese Systeme werden eigentlich immer ohne ein Batch-System ausgestattet das hat aber zur Folge, dass alle Funktionen und die daraus entstehenden Abläufe direkt auf der Controllerebene im Anwenderprogramm umgesetzt sind. Kostenmäßig sind das aufgrund der geringen Hardwarekomponenten und Lizenzkosten sehr günstige Systeme für eine Erstetablierung. Die wirklichen Kosten sind hier im Engineering und Programmierung zu finden. Im Laufe der Zeit und mit dem vermehrten Einsatz dieser Systeme wurden die Funktionalitäten auch ständig weiterentwickelt. Der Nachteil an dieser Tatsache ist, dass sich trotz des identen Systemaufbaus sich jedes System bei den Funktionalitäten ein wenig unterscheidet.

## 10.2 Rockwell Automation (RSView)

Von Rockwell Automation sind auch Systeme im Einsatz wobei hier die ersten bereits in den 90er Jahren aufgebaut wurden und hier vieles an Arbeit und Zeit für eigene „Programmierung und Visualisierungsstandards“ aufgewendet wurde.

Das von mir ausgewählte System ist ursprünglich für einen Neubau 1997 aufgebaut worden und 2002 erweitert worden.

- 2 eigenständige PLC-5 80E Controller

Mit Remote I/O Komponenten des Typs Flex- I/O von Rockwell Automation über die eigene Data-Highway+ Verbindung in Nicht Ex-Bereichen.

- Bedien- und Beobachtungs- Komponenten in Client/Server Struktur mit 1 Servern

Dieser stellt für die Bedien- und Beobachtungs- Stationen und die Batch-Server die Daten zur Verfügung.

- Batch-System in Client/Server Struktur mit 1 Batch-Server

Dieser übernimmt die komplette Rezepturabarbeitung, Weiters stellt dieser auch den Bedien- und Beobachtungsstationen die Bedienoberfläche der Rezepte zur Verfügung.

- 3 gleichwertige Bedien- und Beobachtungs- Stationen

Für das Produktionspersonal zur Bedienung/Beobachtung in der zentralen Schaltwarte.

- 1 Batch- Client Rechner

Für das Produktionspersonal zur Rezeptbedienung in der zentralen Schaltwarte

- 1 Engineering Station in Serverausführung

Für Programmierung und Konfiguration des kompletten Prozessleitsystems. Dient gleichzeitig als Ersatz für einen möglichen Defekt von Bedien- Beobachtungs- Server und Batch-Server.

- Plant LAN (Ethernet)

Verbindung zwischen allen oben genannten Komponenten in einfacher Sternausführung.

Dieses System bietet trotz des schon eigentlich reifen Alters schon viele Funktionen die man auch heute in modernen Prozessleitsystemen findet. Das Batch-System läuft einwandfrei und stabil. Die größte Schwäche des Systems ist der „Ethernet-Datenkanal“ der einzelnen Controller dieser ist hier ziemlich belastet und bildet einen Engpass. Daher sind die Updatezeiten der Visualisierung etwas erhöht, was aber für den Betrieb an sich keine Probleme bedeutet. Weiters besitzt das System noch I/O Karten mit nur 4095 Inkremente für die Analogkanäle(ausgenommen Flex IO), was eine kleinere Auflösung zur Folge hat. Ein weiterer Nachteil ist, dass die I/O Komponenten nicht für den EX-Bereich geeignet sind.

### 10.3 Siemens (PCS7)

Es kommen bei der Fa. Sandoz GmbH diverse Siemens Systeme zum Einsatz daraus habe ich mir eines heraus gesucht welche ich hier etwas näher Beschreibe.

Siemens PCS7 mit der Firmware V7.0 bestehend aus:

- 2 eigenständigen S7-400 Controller

Mit Siemens ET200M Anschaltungen als Remote I/O über ProfibusDP, und Remote I/O Komponenten des Typs Stahl IS1 ebenfalls über ProfibusDP für Einsatz in Ex-Zone 1 und 2. Die Anbindung von geregelten Motoren erfolgt ebenfalls über ProfibusDP.

- Bedien- und Beobachtungs- Komponenten in Client/Server Struktur mit 2 Servern in redundanter Ausführung

Die stellen für die Bedien- und Beobachtungs- Stationen und die Batch-Server die Daten zur Verfügung. Weiters besitzen diese einen OPC-Server für überlagerte Systeme.

- Batch-System in Client/Server Struktur mit 2 Batchservern in redundanter Ausführung

Die übernehmen die komplette Rezepturabarbeitung, Weiters stellen sie auch den Bedien- und Beobachtungsstationen die Bedienoberfläche der Rezepte zur Verfügung.

- 3 gleichwertige Bedien- und Beobachtungs- Stationen

Für das Produktionspersonal zur Bedienung/Beobachtung/Rezeptbedienung in der zentralen Schaltwarte.

- 1 Engineering Station

Für Programmierung und Konfiguration des kompletten Prozessleitsystems

- Anlagenbus (Industrial Ethernet)

Verbindung zwischen den S7-400 Controllern, Bedien- und Beobachtungs- Servern, Engineering Station in redundanter Ringausführung.

- Terminalbus (Industrial Ethernet)

Verbindung zwischen den Bedien- und Beobachtungs- Servern, Bedien- und Beobachtungs- Stationen, Batchservern, Engineering Station und externen Systemen (siehe Punkt Externe Systeme) ebenfalls in redundanter Ringausführung.

#### **Beispiel:** Hardwareaufbau PCS7

Für ein PCS7 Prozessleitsystem, welches problemlos aufgesetzt und auch komfortabel erweitert werden kann benötigt man hier meiner Meinung nach folgende Hardwarekomponenten

- ES: Engineering Station
- Visualisierungsserver
- Redundanter Visualisierungsserver (notwendig beim Laden)
- Batch-Server
- Redundanter Batch-Server (notwendig zum Laden)
- Clients: Visualisierungsclient je nachdem wie viele man benötigt
- CPUs
- (OPC-Server): z.B. für eine PI Aufzeichnung

Bei der Siemens PCS7 sind die Programmierung mittels CFC und SFC inkludiert ist. Jedoch benötigt man für die Visualisierung der SFCs eine eigene Lizenz welche zusätzlich erworben werden muss. Ebenfalls wird eine ausführliche Bausteinbibliothek als Standard mitgeliefert. Für bestimmte vorgefertigte Typicals gibt es ebenfalls eine eigene Bibliothek jedoch ist diese ebenfalls zusätzlich zu erwerben. Die mitgelieferte Typical Bibliothek ist nämlich nur für die Visualisierung.

## 10.4 Emerson (DeltaV)

Es kommen auch einige Emerson DeltaV Systeme zum Einsatz darunter ist auch eines der größten in Europa mit über 20000 DSTs (DST steht bei Emerson für Device Signal Tags und entspricht ungefähr der I/O Anzahl). Für die Beschreibung habe ich mir jedoch ein kleineres herausgesucht.

Emerson DeltaV mit der Firmware 8.4.1 bestehend aus:

- 3 eigenständigen MD+ Controllern

Mit Remote I/O Komponenten des Typs Stahl IS1 über ProfibusDPV1 für Einsatz in Ex-Zone 1 und 2 und auch für die Bereiche ohne Explosionsgefährdung. Die Anbindung von geregelten Motoren erfolgt ebenfalls über ProfibusDPV1.

- Bedien- und Beobachtungs- Komponenten in Client/Server Struktur mit 1 Server

Dieser stellen für die Bedien- und Beobachtungs- Stationen und die Batch-Server die Daten zur Verfügung.

- Batch-System in Client/Server Struktur mit 1 Batch-Server

Dieser übernimmt die komplette Rezepturabarbeitung, Weiters stellt dieser auch den Bedien- und Beobachtungsstationen die Bedienoberfläche der Rezepte zur Verfügung.

- 1 History Collection Server

Für die Erfassung und Archivierung aller anfallenden Prozessdaten und generierten Meldungen und Alarme.

- 3 gleichwertige Bedien- und Beobachtungs- Stationen

Für das Produktionspersonal zur Bedienung/Beobachtung/Rezeptbedienung in der zentralen Schaltwarte.

- 1 Engineering Station in Serverausführung

Für Programmierung und Konfiguration des kompletten Prozessleitsystems. Dieser Server wird bei DeltaV Systemen immer als ProPlus- Station bezeichnet.

- DeltaV LAN (Industrial Ethernet)

Verbindung zwischen allen oben angeführten Komponenten in redundanter Sternausführung.

- Plant LAN (Industrial Ethernet)

Zusätzliche Verbindung zwischen dem Bedien- und Beobachtungs- Server, Batch-Server, History Collection Server, Engineering Station, und externen Systemen (siehe Punkt Externe Systeme) in einfacher Sternausführung.

### **Beispiel:** Hardwareaufbau DeltaV

Für ein DeltaV Prozessleitsystem ist im Vergleich weniger Hardware nötig als das beispielsweise bei der Siemens PCS7 nötig ist.

- ProPlus- Engineering Station
- Batch-Server
- Historie Collection Server z.B. für PI-Anbindung
- Clients: Visualisierungsclient je nachdem wie viele man benötigt
- Controller

Das ist in Summe doch um einiges weniger an teurer Hardware.

Der Großteil der Kosten fällt bei DeltaV Systemen in den Lizenzen an, welche hier in meinen Augen sehr teuer sind.

Da ein DeltaV System noch einige Eigenheiten und in meinen Augen Vorteile hat werde ich hier noch auf ein paar Details eingehen.

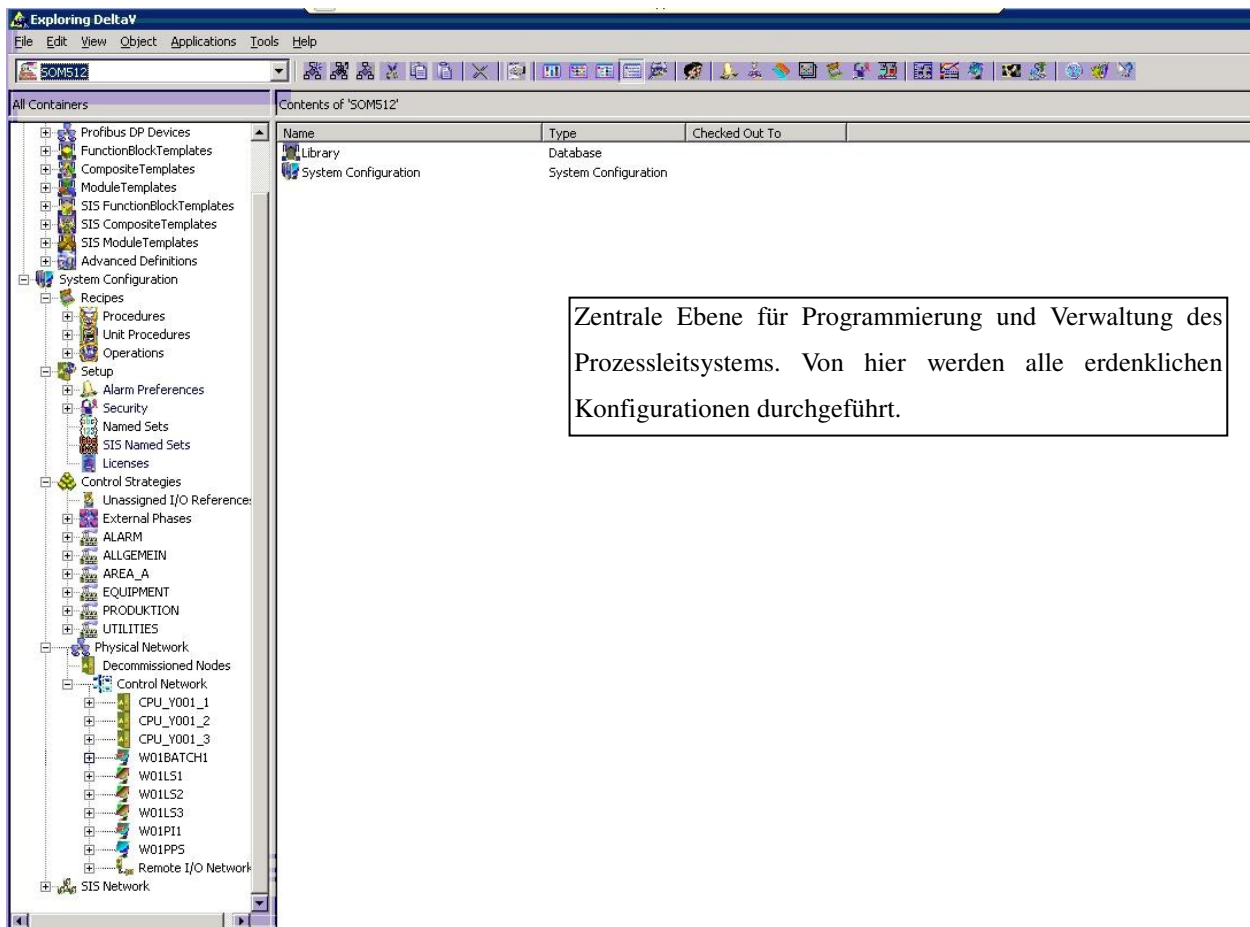
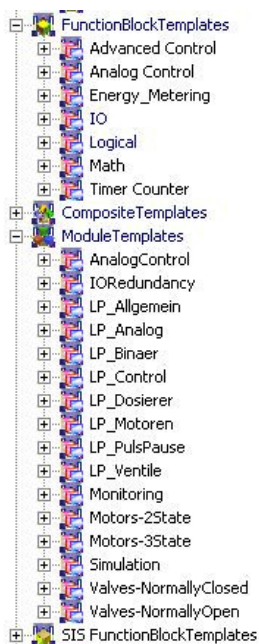


Abbildung 30: DeltaV Explorer



Module für die CFC Programmierung sind hier abgelegt.

Hier können Typicals ausgewählt werden und wenn nötig auch adaptiert oder erweitert werden.

Abbildung 31: Funktionsblockbausteine und Typicals

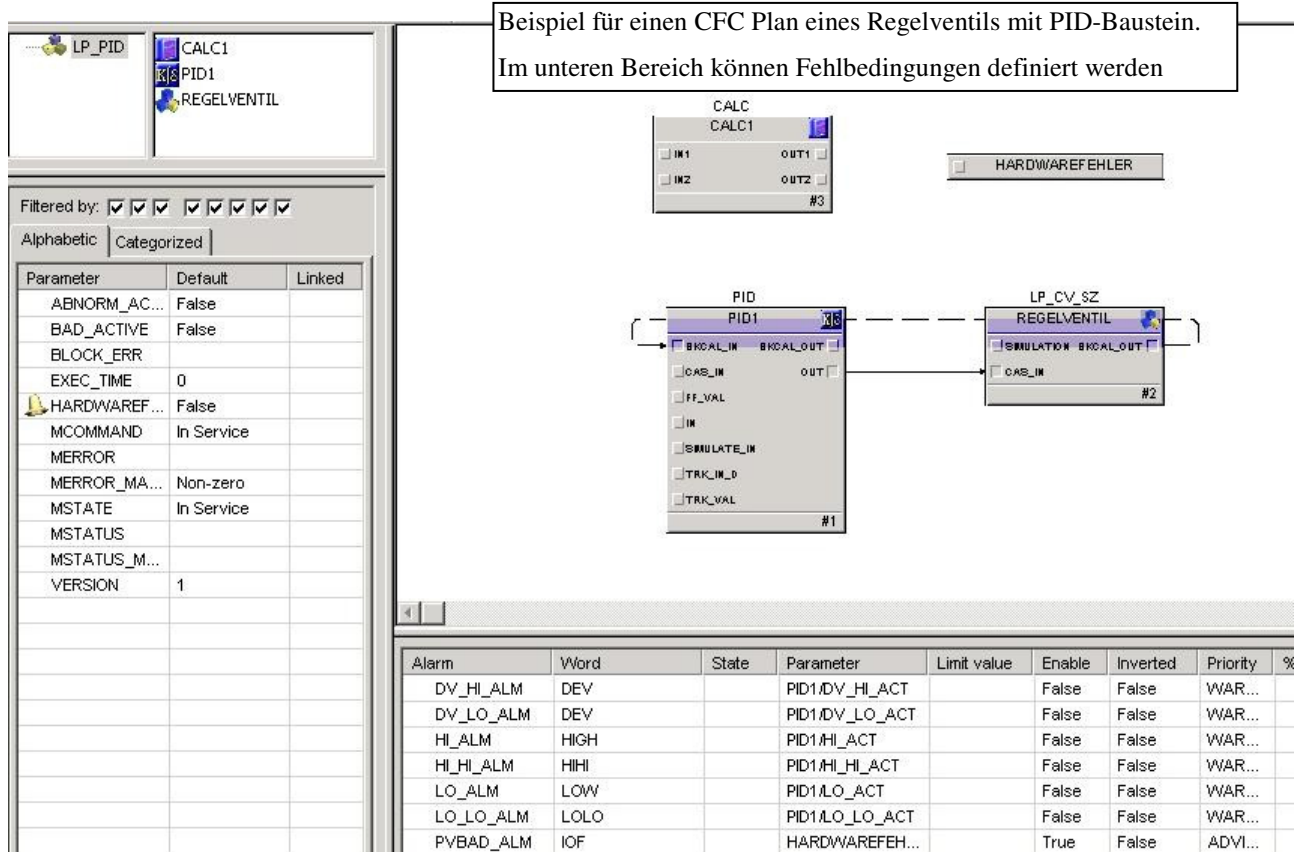


Abbildung 32: Typical eines PID- Regelventils

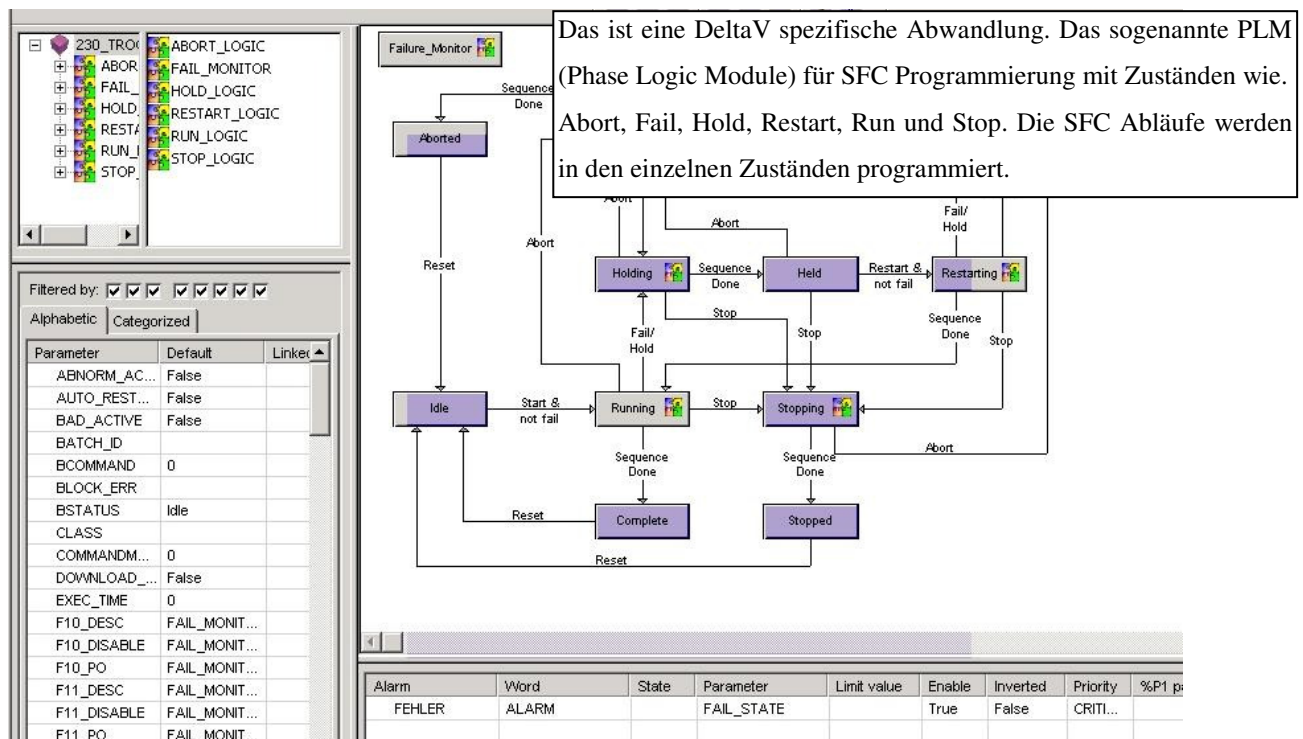


Abbildung 33: Phase Logic Module (PLM)

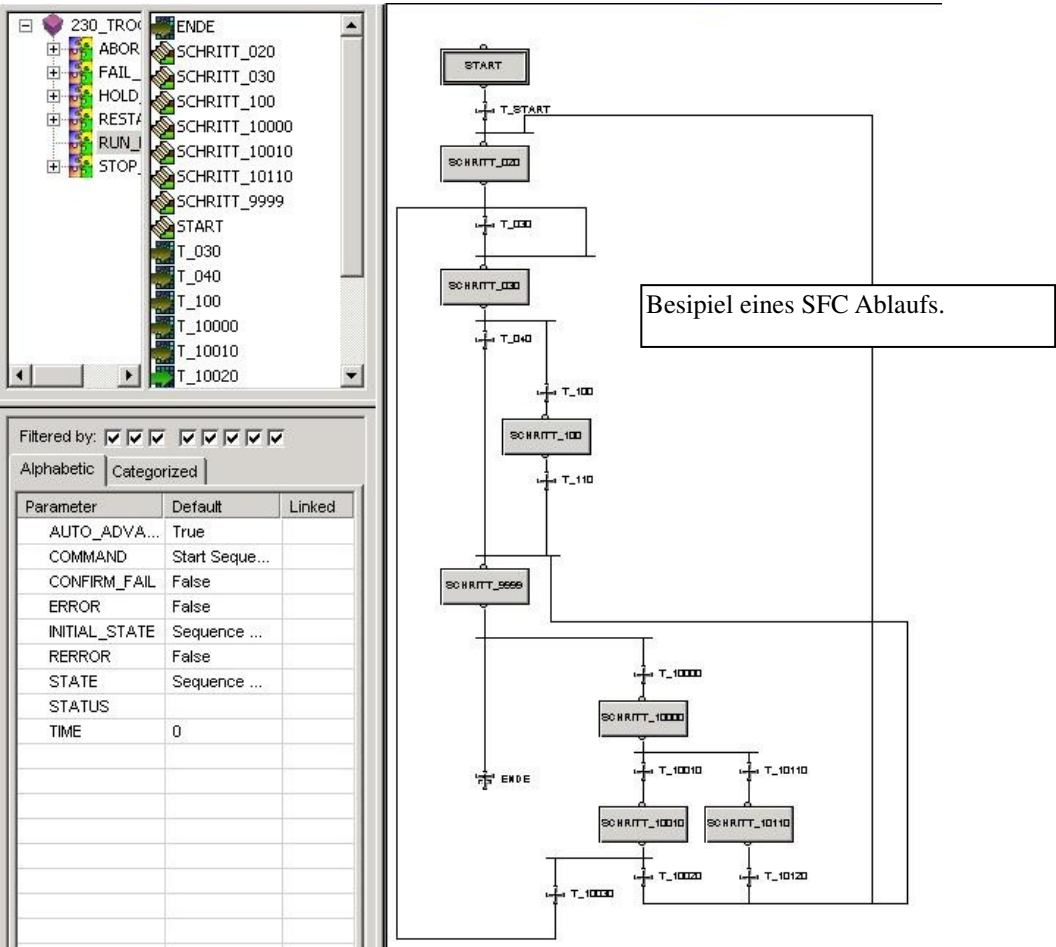


Abbildung 34: SFC- Ablauf

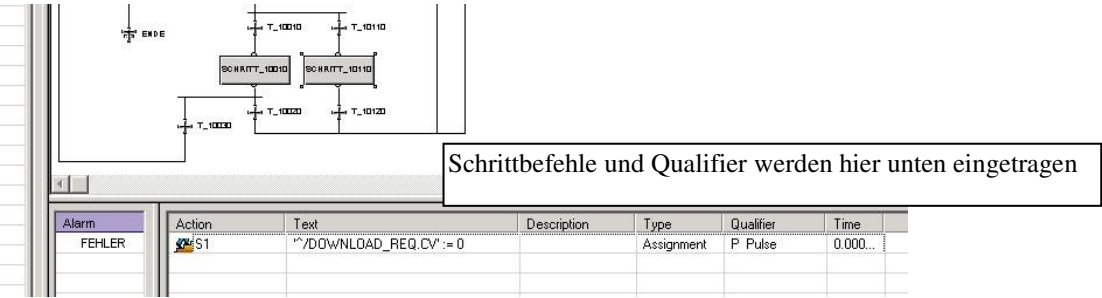
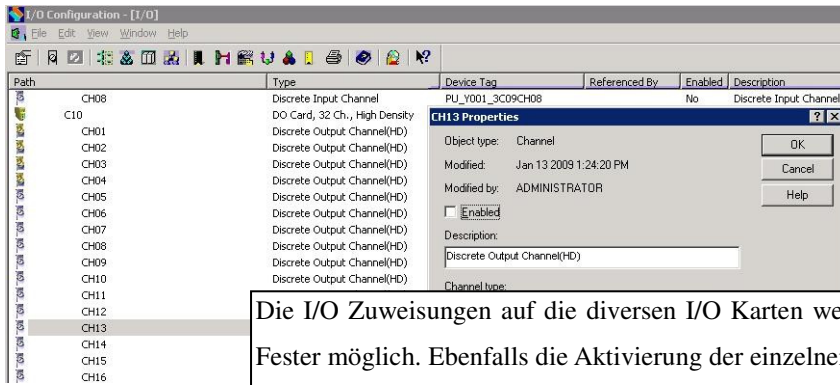


Abbildung 35: SFC Schrittbedingung und Qualifier





Die I/O Zuweisungen auf die diversen I/O Karten werden hier in einem eigenem Fenster möglich. Ebenfalls die Aktivierung der einzelnen Kanäle

Abbildung 36: I/O Zuweisung



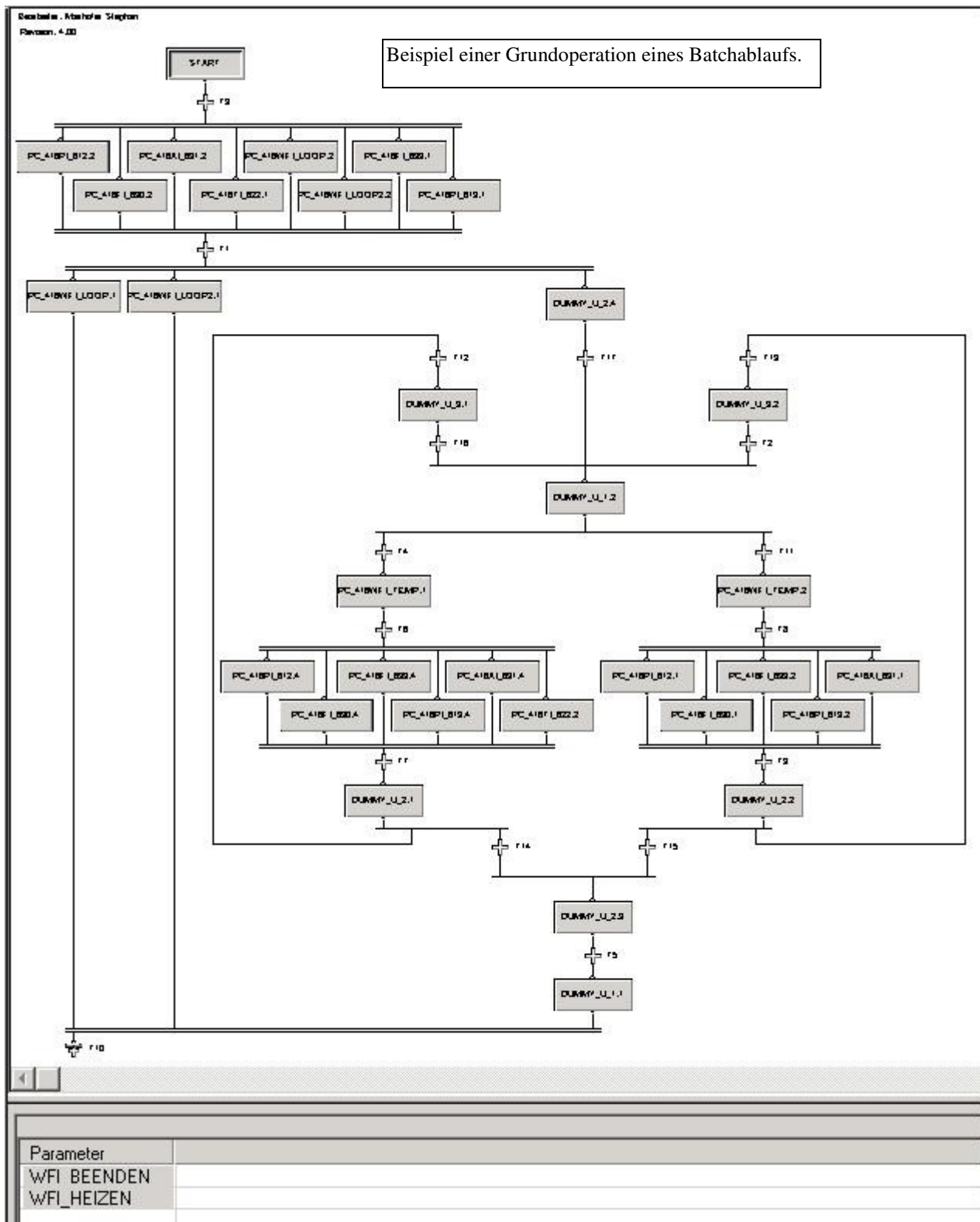


Abbildung 37: Grundoperation Batch-System

## 10.5 Foxboro (I/A Systeme)

Foxboro I/A Systeme sind bei der Sandoz GmbH ebenfalls im Einsatz. Eines davon beinhaltet

- 10 CP60FT Controllern

Die Controller sind über ein redundant ausgeführtes Ethernet(10Base2) jeweils an einen Umsetzermodule (FBM223) für 3fachen Profibusanschluss angebunden. Eine ProfibusDP Anbindungen für Stahl IS1 Remote I/O Komponenten für Ex- und Nicht Ex-Bereiche. Die zweite Anbindung für geregelte Motoren erfolgt ebenfalls über ProfibusDP und einer weiteren ProfibusDP Anbindung zu einer Siemens Sicherheitssteuerung für Sicherheitsgerichtete Anwendungen.

- 3 Application Server für alle Anwendungen

Engineering/Maintenance, Bedien- und Beobachtungs- Terminals werden davon „versorgt“, wobei einer die Funktion des Batch-Servers übernimmt. Die Server sind via Ethernet- Netzwerk in sternförmiger Ausführung mit den Bedien- und Beobachtungs- Terminals verbunden die Verbindung zu den Controllern erfolgt redundant.

- 7 Bedien- und Beobachtungs- Terminals

Alle diese Rechner sind zentral in der Schaltwarte aufgebaut.

- SQL-Server

Für die Batch-Reports ist dieser Server vorgesehen, die Reports können via Web-Interface von den Bedien- und Beobachtungs- Terminals abgerufen werden.

- Alarm-PC

Die gesamten Alarmer und Meldungen werden hierüber einen separaten an das Externe System weitergeleitet.

- 3 Eigenständige Programmierstationen

Mit einer Ethernetverbindung zur Programmierung und Wartung der gewünschten Bereiche.

Foxboro ist nicht ein eigener Hersteller, Foxboro ist in irgendeiner Weise im Invensys Konzern inkludiert, dort findet man auch die meisten Infos.

Das I/A System ist eine recht komplexe Materie welche ebenfalls seitens Sandoz sehr zeitintensiv bearbeitet wurde um einen einheitliche Standard seitens Programmierung hinzubekommen. Laut mir bekannter Programmierer lässt vor allem der Support seitens Fehlerbehandlungen zu wünschen übrig. Das Batch-System ist ursprünglich von Wonderware entwickelt worden, dieses macht für Leute mit fehlender Routine mitunter Probleme. Das ist aber durch Know-how gut verhinderbar, hier sind noch wirkliche Systemspezialisten für eine bestimmte Anwendung notwendig. Das ist für transparentere Systeme wie dem DeltaV nicht so ausgeprägt.

.Die Bibliotheken bei Auslieferung sind eher dürftig im Vergleich zu anderen Systemen. Die gelieferten Displays sehen leider auch eher lieblos gestaltet aus und werden so nicht verwendet.

Softwareteile wie „PHASE\_EXEC“ werden von Foxboro standardisiert angeboten diese übernimmt die Steuerung von SFCs, wenn ein Batch-System verwendet wird. Dadurch ist es auch (relativ) einfach, von einer reinen SFC-Steuerung auf ein Batch-System umzustellen.

## 11 Externe Systeme

Für ein Prozessleitsystem können diverse externe Systeme realisiert werden.

Ein paar Systeme welche Vorteilhaft eingesetzt werden können sind nachfolgend aufgelistet. Um alle Vorzüge daraus nützen zu können gibt es natürlich eine Voraussetzung. Es muss eine Verbindung der einzelnen Prozessleitsysteme über eine LAN-Verbindung bestehen. Seitens der Fa. SandozGmbH wurde dazu ein eigenes so genanntes PLS-LAN aufgebaut.

### 11.1 Domain Controller

Der Einsatz eines zentralen Domain Controllers kann bei verschiedenen Prozessleitsystemen mitbenützt werden, dadurch ist eine Kontrolle und Überwachung der Passwortrichtlinien gemäß den Anforderungen durch den 21CFR Part11 gegeben. Weiters geschieht die Verwaltung an zentraler Stelle und ist für alle verschiedenen Prozessleitsysteme gleich.

### 11.2 Uhrzeitsynchronisation

Für eine Zeitsynchronisation aller Prozessleitsysteme ist ein Aufbau eines zentralen Zeitserverns sinnvoll. Dieser stellt die aktuelle Zeit für alle beteiligten Systeme zur Verfügung und jedes Prozessleitsystem kann danach abgeglichen werden. Dies stellt sicher, dass alle Anwendungen über die selbe Zeit verfügen und somit auch alle erfassten Daten „zeitrichtig“ sind.

### 11.3 PI System (OSIsoft)

Durch den Einsatz von unterschiedlichen Prozessleitsystemen und der daraus resultierenden Daten macht es Sinn dieses System einzusetzen. Hier werden die Trenddaten von diversen Messungen und Signalen (Druck, Temperatur, Verbrauch, Analysen, etc.) elektronisch archiviert. Diese können somit zur weiteren Dokumentation, Prozessoptimierung und zur Bilanzierung herangezogen werden. Diese Daten werden je nach Anwendung in Echtzeit benötigt und/oder müssen dauerhaft gespeichert werden. Einmal am PI-System gespeicherte Daten sind jederzeit mittels PI-Clientsoftware abrufbar. Werden nach Jahren Daten vom PI-System ausgelagert, so können diese bei Bedarf in kurzer Zeit wieder in das System aufgenommen werden. Das PI-System wird primär zur Darstellung von Trends, analog zu den Trends am Prozessleitsystem eingesetzt. Es besteht die Möglichkeit Daten in Microsoft Excel zu übernehmen. Weiters gibt es eine Vielzahl von Schnittstellen, die es ermöglichen auf Daten im PI-System zuzugreifen.

#### Systemübersicht

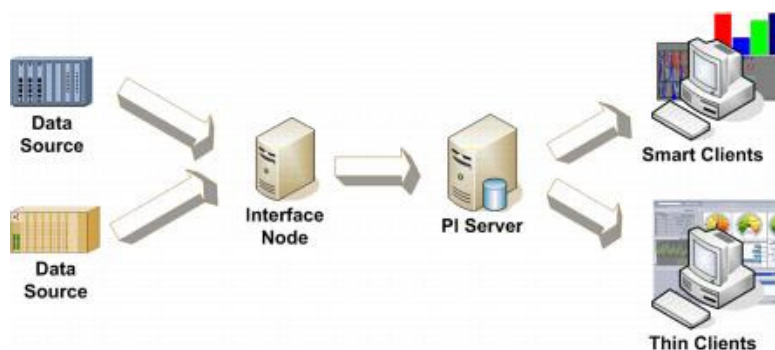


Abbildung 38: PI Systemübersicht und Datenfluss

Vom PI-Interface, einer Applikation die am PI-Node läuft, werden die zu erfassenden Messstellen in frei definierbaren Zyklen von der Datenquelle über das Prozessleitsystem Netzwerk via OPC abgefragt. Überschreitet die tatsächliche Messwertänderung das für eine Messstelle konfigurierte Delta (Delta definiert die minimale Änderung welche überschritten werden muss, damit ein Wert erfasst wird), wird der Wert über das LAN an den PI-Server weiter gereicht. Ist dies aufgrund einer nicht vorhandenen Verbindung (Netzwerkausfall) nicht möglich, wird der Wert am PI-Node zwischengespeichert und, nachdem die Verbindung wieder aufrecht ist, übertragen. Werte, die am PI-Server eintreffen, werden je nach Konfiguration der Messstelle abermals komprimiert und anschließend auf der Festplatte des Servers gespeichert.

Clientapplikationen greifen über das LAN auf den PI-Server zu, dieser prüft die Berechtigung und übergibt die angeforderten Daten an den Client.

Neue Datenpunkte können ohne Einfluss auf die Datenaufzeichnung anderer Datenpunkte erstellt, geändert oder gelöscht werden. Das System muss dabei nicht herunter gefahren werden. Die Verfügbarkeit der Daten für die Nutzer und die dauerhafte Archivierung der Daten kann frei festgelegt werden.

### **Dokumentation GMP relevanter Daten**

Werden GMP relevante Daten am PI-System verarbeitet und/oder dauerhaft gespeichert, muss der Weg vom Messpunkt bis zur Aufzeichnung am PI-Server auch validiert werden.

Der Zugriff auf das PI-System kann durch die integrierte Userdatenbank reguliert werden. Dort werden die Rechte, welche Anwender in Bezug auf Datenpunkte haben, definiert. Der Zugriff auf das PI-System erfolgt somit durch eine Benutzerverwaltung welche 21Part 11 konform ist.

### **PI ProcessBook**

Real-time und/oder historische Daten können im PI ProcessBook grafisch dargestellt werden. Trends oder Grafiken (PI-Displays) können ausgedruckt werden.

### **PI DataLink**

Hiermit wird eine Verbindung zwischen dem PI-Server und bekannten PC basierenden Softwareprogrammen wie Microsoft Excel erstellt und es können Daten frei ausgewählt werden.

## 11.4 Logmate

Die Aufgabe die diesem System zugeordnet wird ist die lückenlose und vollständige Erfassung aller anfallenden Events, Meldungen und Alarme von allen Prozessleitsystemen. Dabei ist es nicht relevant welche Prioritäten oder Einstufungen diese Daten besitzen. In weiterer Folge besteht die Möglichkeit diese Daten zu selektieren und weiterzuverarbeiten.

### Systemübersicht

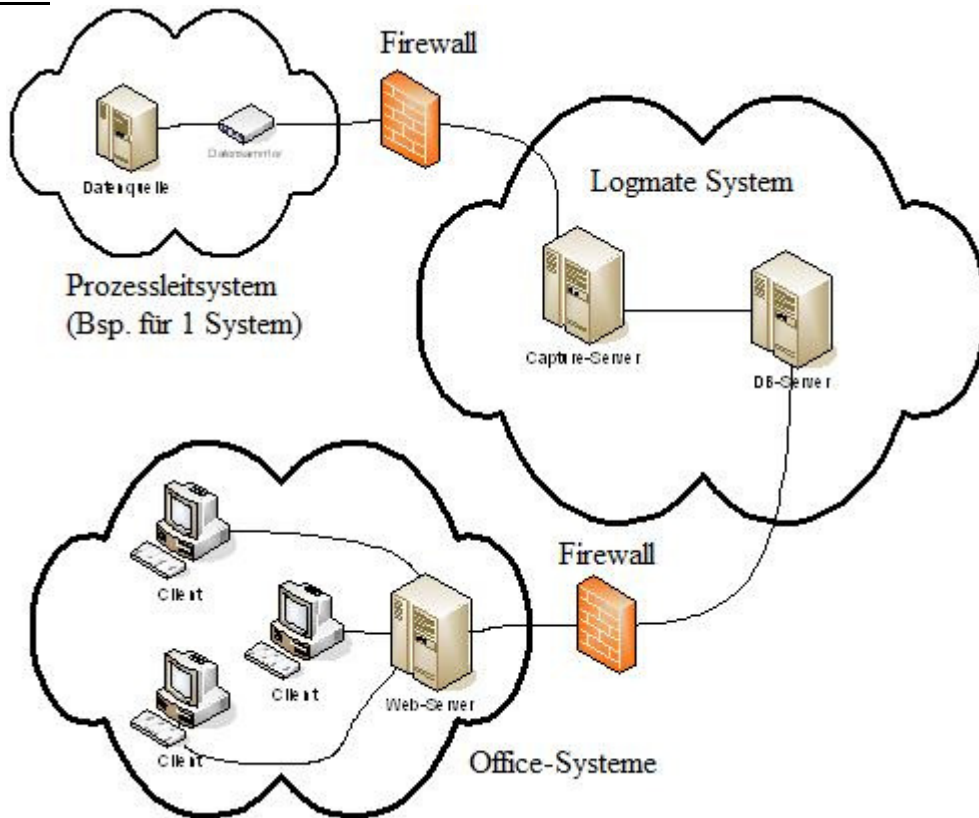


Abbildung 39: Logmate Systemübersicht

### Beschreibung

Die definierten Daten werden von einem zentralen DB-Server aufgezeichnet und in einer Datenbank-Struktur abgelegt. Die Strukturierung der Ablage erfolgt nach definierbaren Feldern (z.B. Datum, Uhrzeit, Messstelle, Typ,...). Zusätzlich besteht die Möglichkeit, für definierte Daten eine weitere Bearbeitung durchzuführen. Es besteht z.B. die Reportgenerierung für definierte Alarme und eine Möglichkeit Alarme direkt zu einem Produzierten Produkt auf einer Anlage zuzuordnen. Diese Reports können via eine Web-Applikation von einem Web-Server abgerufen werden. Weiters kann die Onlineverfügbarkeit und die dauerhafte Archivierung der Daten kann frei festgelegt werden.

### Dokumentation von GMP relevanter Daten

Werden GMP relevante Daten am Logmate-System verarbeitet und/oder dauerhaft gespeichert, muss der Weg vom Auftreten des Alarms am Prozessleitsystem bis zur Aufzeichnung am Logmate-System validiert werden. Werden die Daten im Anschluss weiterverarbeitet (z.B. Generieren von Reports), müssen auch diese Funktionen validiert werden. Der Zugriff auf das Logmate-System wird durch eine Benutzerverwaltung reguliert und ist 21Part 11 konform.

## Schlusswort

Aus den eingesetzten Prozessleitsystemen in unserem Bereich einen klaren Favoriten auszuwählen ist eigentlich nicht leicht möglich, weil jedes System seine Vorteile und seine Berechtigung besitzt.

Zu beachten ist auch immer die gegebenen Personalverhältnisse, welche in den Entscheidungsprozess mit einfließen. Modernisierungen von Prozessleitsystemen haben ebenfalls zur Folge, dass meist der Hersteller erhalten bleibt und nicht durch ein „KonkurrenzsysteM“ ersetzt wird.

Für mich persönlich ist das DeltaV System von Emerson das im Moment kompletteste Prozessleitsystem das bei uns firmenintern eingesetzt wird. Ich habe auch noch von keinem weiteren Prozessleitsystem am Markt eine bessere Gesamtlösung gesehen. Beim DeltaV System ist vor allem die Engineering Ebene(Programmierebene) hervorzuheben. Die Programmierung erfolgt hier Schätzungsweise zu 95% vom DeltaV Explorer aus, alles über eine zentrale Softwareapplikation und ist trotzdem klar und übersichtlich.

Eine absolute Plus vom DeltaV System ist der Support dieser ist in meinen Augen fast perfekt. Über den Guardian Support wird mehr oder weniger alle Komponenten über Verfügbarkeit und Updates überwacht, was für die Instandhaltung und Zukunftsplanung einen großen Vorteil bringt.

Ein DeltaV System ist aber im Vergleich zu anderen Systemen teuer was oft ein Hindernis darstellt, dazu kann ich nur kurz und knapp sagen „Qualität hat seinen Preis“.

Für die Verwendung von Remote I/O Systemen bin ich der Meinung, dass hier die R.Stahl AG mit den IS1 das absolut beste System liefert. Die R.Stahl AG ist für mich auch eines der Kompetenzzentren wenn es um den Explosionsschutz geht. Bei den IS1 ist mittlerweile die Implementierung von Industrial Ethernet ModBus-TCP als Kommunikationsverbindung geschehen, daher wird die Anwendungshäufigkeit hier sicher noch um einiges steigen.

In Zukunft bleibt jedoch abzuwarten und zu beobachten, wie sich die Prozessleitsysteme an sich weiter entwickeln. Ein interessantes System für zukünftige Anwendungen ist meiner Meinung nach das PlantPax Prozessleitsystem von Rockwell Automation. Im PlantPax Prozessleitsystem sind viele Anregungen und Erweiterungen eingeflossen die bei den Vorgängerversionen noch nicht zur Verfügung gestanden haben.

Weitere Prozessleitsysteme wie APROL von B&R oder das Freelance von ABB konnten mich durch deren Präsentation jetzt nicht so sehr überzeugen. Dies liegt beim APROL Prozessleitsystem vor allem an den Hardware-Komponenten auf der Feldebene. Beim Freelance Prozessleitsystem am Aufbau der Systems im allgemeinen Aufbau zwischen PNK und BUB Ebene. Grundsätzliche Aufbaumodelle für die Prozessleitsysteme von B&R und ABB habe ich im Anhang angefügt um sich darüber noch einen besseren Überblick zu verschaffen.

## Danksagung

Abschließend möchte ich mich noch bei einigen Personen bedanken, durch deren Mithilfe die Anfertigung dieser Arbeit möglich gemacht wurde.

Vor allem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Ing. Dietmar Römer, der die Arbeit seitens der Hochschule Mittweida betreute, und bei Herrn Dipl. Ing. Hohenwarter Albert, der die Betreuung seitens der Firma SandozGmbH übernahm, bedanken.

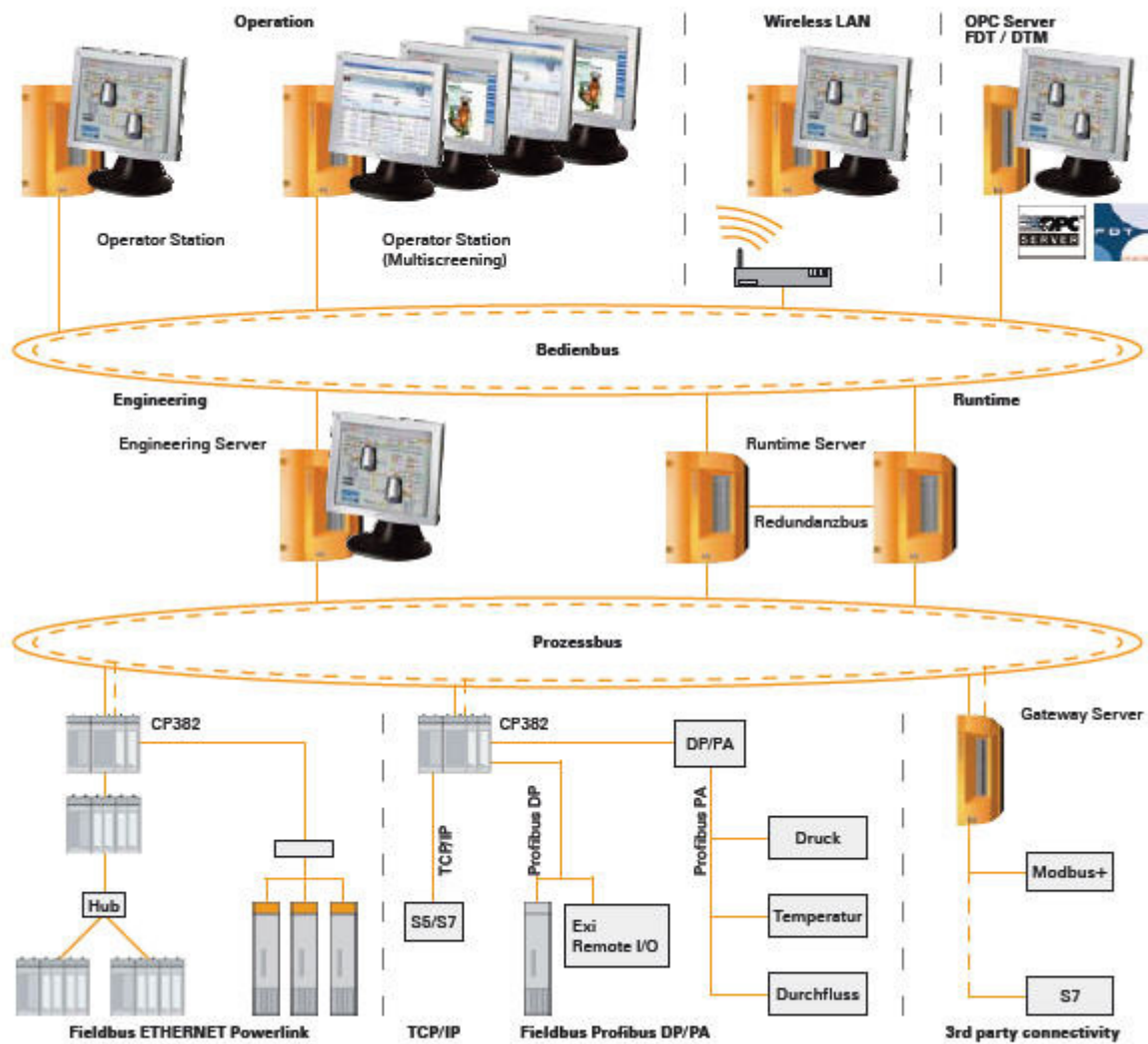
Besonders darf ich mich auch bei meinem Arbeitgeber der Firma SandozGmbH und den Mitarbeitern der Abteilung IAI-IPE bedanken, welche mich bei der Erarbeitung dieser Diplomarbeit sehr unterstützt haben.

Thiersee, Januar 2011

( MAIRHOFER Stephan )



## Anhang

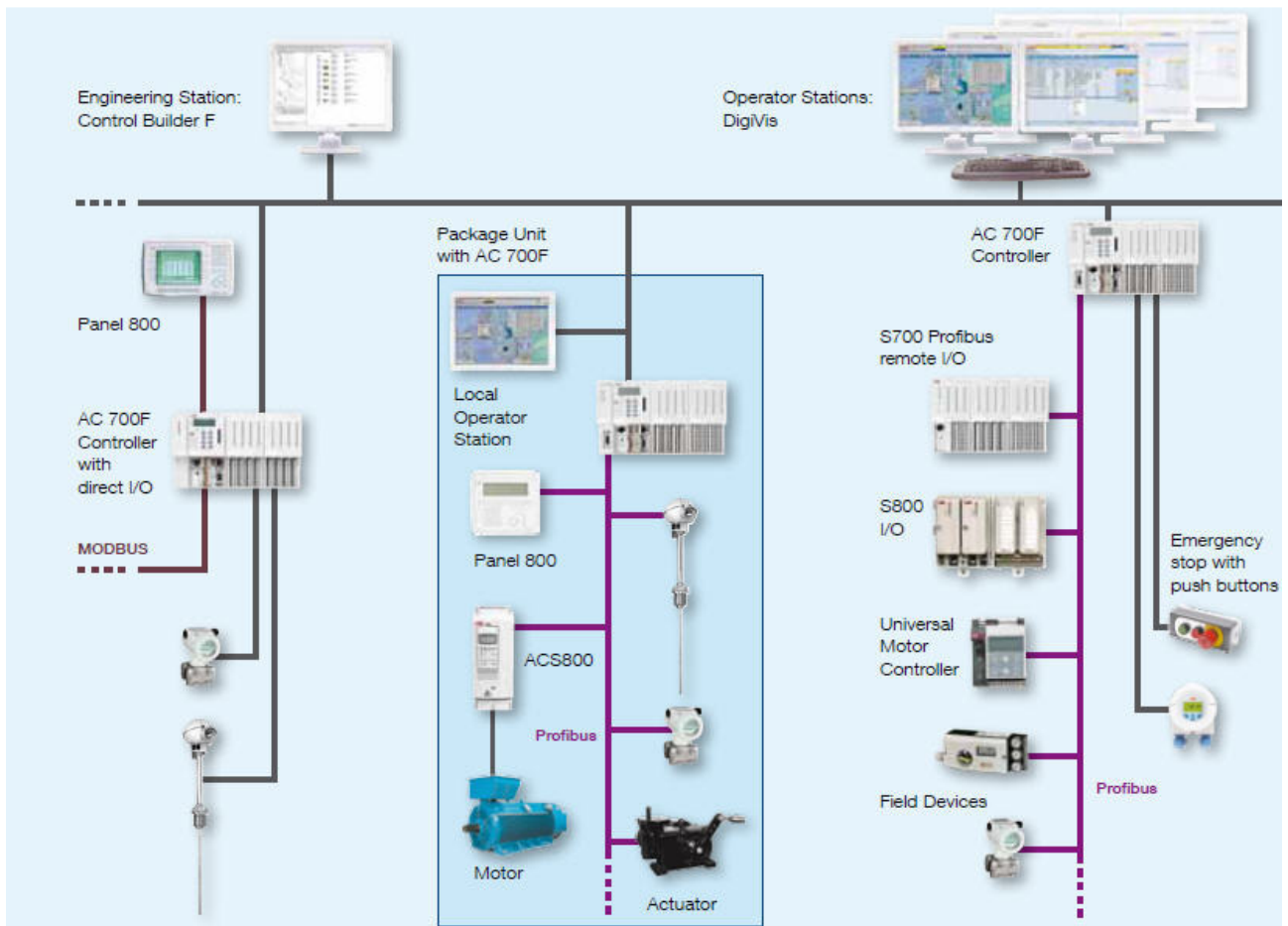


### Prozessleitsystemübersicht APROL von B&R

<http://ipkc.nwpu.edu.cn/jpxin/kbckzqy/wenxian/002/APROL%E7%B3%BB%E7%BB%9F.PDF>

Abgerufen am: 20.12.2010





**Prozessleitsystem Freelance von ABB**

[http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/ce4b10cbbc838507c12577cb0014497c/\\$file/3bdd010023\\_d\\_en\\_freelance\\_system\\_description.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/ce4b10cbbc838507c12577cb0014497c/$file/3bdd010023_d_en_freelance_system_description.pdf)

Abgerufen am: 20.12.2010

## Literaturverzeichnis

- Anybus.de - Industrial Ethernet*. (13. 12 2010). Von  
<http://www.anybus.de/technologie/ethernet.shtml> abgerufen
- Baudatenbank - EN 61508*. (09. 01 2010). Von  
<http://www.bdb.at/Service/NormenDetail?id=285691> abgerufen
- Comes Compliance - ISPE GAMP5*. (22. 12 2010). Von  
<http://www.comes-compliance.com/en/contact-us/ispe-gamp-5-in-der-praxis-de> abgerufen
- Feldbusse.de - ControlNet*. (12. 12 2010). Von  
<http://www.feldbusse.de/Controlnet/controlnet.shtml> abgerufen
- Feldbusse.de - ControlNet Protokoll*. (12. 12 2010). Von  
<http://www.feldbusse.de/Controlnet/protokoll.shtml> abgerufen
- Feldbusse.de - DeviceNet*. (12. 12 2010). Von  
<http://www.feldbusse.de/DeviceNet/protokoll.shtml> abgerufen
- R.Stahl AG - Elektrische Geräte Eigensicherheit*. (04. 01 2011). Von  
<http://www.stahl.de/produkte-und-systeme/was-ist-explosionsschutz/technische-grundlagen/zuendschutzarten/elektrische-geraete/eigensicherheit.html> abgerufen
- R.Stahl AG - Explosionsschutz Rechtsgrundlagen*. (03. 01 2011). Von  
<http://www.stahl.de/produkte-und-systeme/was-ist-explosionsschutz/explosionsschutz-rechtsgrundlagen-und-> abgerufen
- Wikipedia - Bussysteme*. (10. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Bussystem#cite\\_note-IEV\\_351-32-10-0](http://de.wikipedia.org/wiki/Bussystem#cite_note-IEV_351-32-10-0) abgerufen
- Wikipedia - Continuous Function Chart*. (18. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Continuous\\_Function\\_Chart](http://de.wikipedia.org/wiki/Continuous_Function_Chart) abgerufen
- Wikipedia - EN61131-3*. (18. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/EN\\_61131#Teil\\_3:\\_Programmiersprachen\\_.28EN\\_61131-3:2003.29](http://de.wikipedia.org/wiki/EN_61131#Teil_3:_Programmiersprachen_.28EN_61131-3:2003.29) abgerufen
- Wikipedia - EVA Prinzip*. (08. 12 2010). Von  
<http://de.wikipedia.org/wiki/EVA-Prinzip> abgerufen
- Wikipedia - FDA*. (22. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Food\\_and\\_Drug\\_Administration](http://de.wikipedia.org/wiki/Food_and_Drug_Administration) abgerufen
- Wikipedia - GAMP*. (18. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Good\\_Automated\\_Manufacturing\\_Practice](http://de.wikipedia.org/wiki/Good_Automated_Manufacturing_Practice) abgerufen
- Wikipedia - GMP*. (17. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Good\\_Manufacturing\\_Practice](http://de.wikipedia.org/wiki/Good_Manufacturing_Practice) abgerufen
- Wikipedia - HART*. (20. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Highway\\_Addressable\\_Remote\\_Transducer](http://de.wikipedia.org/wiki/Highway_Addressable_Remote_Transducer) abgerufen
- Wikipedia - Industrial Ethernet*. (13. 12 2010). Von  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Ethernet](http://de.wikipedia.org/wiki/Industrial_Ethernet) abgerufen

*Wikipedia - ISA88.* (28. 12 2010). Von

<http://de.wikipedia.org/wiki/ISA-88> abgerufen

*Wikipedia - NAMUR.* (03. 12 2010). Von

<http://de.wikipedia.org/wiki/NAMUR> abgerufen

*Wikipedia - OPC.* (kein Datum). Von

[http://de.wikipedia.org/wiki/OLE\\_for\\_Process\\_Control](http://de.wikipedia.org/wiki/OLE_for_Process_Control) abgerufen

*Wikipedia - Profibus.* (12. 12 2010). Von

<http://de.wikipedia.org/wiki/Profibus> abgerufen

*Wikipedia - Prozess Technik.* (03. 12 2010). Von

[http://de.wikipedia.org/wiki/Prozess\\_\(Technik\)#cite\\_note-1](http://de.wikipedia.org/wiki/Prozess_(Technik)#cite_note-1) abgerufen

*Wikipedia - R+I Fließbild.* (05. 12 2010). Von

[http://de.wikipedia.org/wiki/RI-Flie%C3%9Fbild#Inhalt\\_und\\_Aufgabe\\_des\\_RI-Flie.C3.9Fbilds](http://de.wikipedia.org/wiki/RI-Flie%C3%9Fbild#Inhalt_und_Aufgabe_des_RI-Flie.C3.9Fbilds) abgerufen

## Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Thiersee, am 19. Jänner 2011

( MAIRHOFER Stephan )